



Energiatekniikan laitos

Maria Mäenpää

Hankesuunnitteluvaiheen tietomallin LVI-nimikkeistöjen sekä algoritmimallien laatiminen

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Espoo 28.4.2014

Työn valvoja: Professori Kai Sirén

Työn ohjaajat: Dosentti Ari Pennanen ja diplomi-insinööri Harri Ripatti

Tekijä Maria Mäenpää

Työn nimi Hankesuunnitteluvaiheen tietomallin LVI-nimikkeistöjen sekä algoritmimallien laatiminen

Laitos Energiatekniikan laitos

Professuuri LVI-tekniikka

Professuurikoodi Ene-58

Työn valvoja Professori Kai Sirén

Työn ohjaajat Dosentti Ari Pennanen ja diplomi-insinööri Harri Ripatti

Päivämäärä 28.4.2014

Sivumäärä 96

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Rakentamisen toimintaympäristö muuttuu koko ajan monimutkaisemmaksi kasvavien vaatimusten myötä. Rakennuksilta haluttavien ominaisuuksien ja elinkaarikustannusten kannalta tärkeitä päätöksiä pitäisi pystyä tekemään hankkeiden varhaisissa vaiheissa, mutta päätöksenteon tueksi ei ole riittävää arviointimenettelyä johon tukeutua. Kustannusten osalta päätöksentekoa siirretään nykyisissä hankkeissa yhä myöhäisempiin vaiheisiin, koska kustannukset voidaan vasta suunnitelmien valmistuttua arvioida luotettavasti. Aikaisen kustannustiedon puuttuminen johtaa tilaajan kannalta väärin päätöksiin, jatkuvaan uudelleen suunnitteluun ja suunnitelmien karsimiseen varojen loppuessa.

Työn tavoitteena oli tutkia rakennusten LVI-järjestelmien tietomallintamisen periaatteita ennen suunnittelua. Kirjallisuuden ja haastattelujen avulla selvitettiin nykyisen tietomallintamisen soveltuvuutta hankesuunnitteluvaiheeseen ja uusilta tietomalleilta vaadittavia ominaisuuksia. Näiden selvitysten perusteella tietomallintaminen ei kata hankesuunnitteluvaihetta, eikä juurikaan käytön ja ylläpidon vaiheita. Tietomallintamista käytetään tällä hetkellä pääosin suunnitteluvaiheessa, vaikka se usein kuvataankin rakennuksen koko elinkaaren aikaiseksi prosessiksi. Työssä kuvattiin mallinnusketju ja algoritmit, joilla tilaajan tiloilta haluamat ominaisuudet voidaan muuntaa niitä tuottaviksi LVI-järjestelmiksi. Tämän ketjun tueksi laadittiin LVI-nimikkeistöt, joilla yhdistettiin palvelut ja järjestelmät. Nimikkeistöillä pyrittiin yhdistämään kolme eri näkökulmaa: tilaaja (palvelu), suunnittelija (järjestelmät) ja tuottaja (tuotannon näkökulma). Algoritmimallit kehitettiin seuraaviin palveluihin / järjestelmiin: kohdepoisto, kustutus, sairaalakaasu happi, teollisuuden paineilma ja uima-altaiden vedenkäsittely.

Algoritmimallien pätevyys testattiin todellisilla hankkeilla, joiden määriä ja kokoluokkia verrattiin algoritmimallien tuottamiin tuloksiin. Tavoitteena algoritmimallien testaamisessa oli se, että todellisen hankkeen ja algoritmimallin määrien ero pysyy alle $\pm 20\%$. Tähän tavoitteeseen päästiin kaikissa muissa algoritmimalleissa, paitsi uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmässä. Yksinkertaisilla lähtötiedoilla on vaikea mallintaa nykyisiä monimutkaisia vesielämyskonsepteja. Tämän vuoksi ainakin vedenkäsittelyjärjestelmän mallin kehittämistä tulee jatkaa. Algoritmimallien testauksessa havaittiin muiden mallien toimivan riittävällä tarkkuudella hankesuunnitteluvaiheen kustannusarvioiden määrätiedoksi. Algoritmimalleja tulee kuitenkin jatkossa vielä testata useammilla hankkeilla, jotta niiden toiminta saadaan paremmin sovitettua todelliseen maailmaan. LVI-nimikkeistöjen osalta testaus suoritettiin todellisen hankkeen määrälaskentaluettelolla ja tutkittiin sitä, miten hyvin nimikkeistöt toimivat yhteen. Testaus osoitti, että nimikkeistöt toimivat hyvin ja niiden avulla voidaan kuvata selkeästi erilaiset järjestelmät.

Avainsanat rakennuksen tietomalli, strateginen toimitilasuunnittelu, tavoitehintamenettely, nimikkeistö, kohdepoisto, kustutus, sairaalakaasu, happi, paineilma, uima-altaiden vedenkäsittely

Author Maria Mäenpää

Title of thesis Drafting of nomenclature and example algorithms of building information model in the project planning phase

Department Department of Energy Technology

Professorship HVAC-Technology

Code of professorship Ene-58

Thesis supervisor Professor Kai Sirén

Thesis advisors Docent Ari Pennanen and Harri Ripatti, M.Sc. (Tech.)

Date 28.4.2014

Number of pages 96

Language Finnish

Abstract

Construction environment has become all the time more complex because of growing requirements. Decisions with relation to desirable characteristics of the building and life cycle costs should be possible to make in the early stages of the projects, but there is not an evaluation method for the decision making process to lean on. Decisions which are linked to the costs are postponed to even later stages of the projects, because the costs can be estimated reliably not until the designs are ready. The lack of early cost information leads the customer to wrong decisions, continuous redesigning and cutting down designs due to funds running out.

The aim of this thesis was to examine the building information modeling (BIM) principles of HVAC-systems of the buildings prior planning. Literature and interviews were used to determine the suitability of the current BIM in the project planning phase and new BIM required features. On the basis of literature and interviews, building information modeling is not used in the project planning phase nor than the operation and maintenance phases. BIM is currently used mainly in during the planning phase, although it is often described as the entire life cycle process of the buildings. In this thesis, a modeling chain and algorithms were described, with which the properties desired by the client can be converted into the productive HVAC-system. This chain was supported by the HVAC-nomenclature, which was combined with the services and systems. With the help of the nomenclature three different perspectives were tried to match: customer (service), designer (systems) and producer (production approach). The algorithm models were developed for the following services / systems: local exhaust ventilation, humidification, medical gas oxygen, industrial compressed air and swimming pool water treatment.

The algorithm validity was tested in the real projects, the quantities and size categories of which were compared with the results produced by the algorithm models. The objective of the algorithm for testing the models was the fact that the actual project and the algorithm model amounts should not differ by more than $\pm 20\%$. This objective was achieved in all the other models, except for the swimming pool water treatment system. With simple input data it is difficult to model the current complex water experience concepts. As a result, at least the swimming pool water treatment model development will continue. In the testing of algorithm models, it was found that the other models work with sufficient accuracy for information of the cost estimates of the project planning phase. The algorithm models, however, still need to be tested in many projects, so that their activities can be better adapted to the real world. The testing of the HVAC-nomenclature was done on a real project bill of quantities and it was examined how well the nomenclatures operate together. The testing showed that the nomenclatures are functioning well and can be used to describe the different systems clearly.

Keywords building information model, strategic workplace planning, target costing, nomenclature, local exhaust ventilation, humidification, medical gas, oxygen, industrial compressed air, swimming pool water treatment

Esipuhe ja kiitokset

Diplomityö on saatu Haahtela-kehitys Oy:ltä ja sen tarkoituksena oli täydentää TAKU®-tietomallia LVI-tekniikan osalta. Työtä tehtiin kokopäiväisesti yhdessä muun TAKU®-kehitystiimin kanssa. Alussa työn tekeminen tuntui haastavalta, sillä työssä ei voitu käyttää LVI-alalle juurtunutta suunnittelu-hinnoittelu-ajattelutapaa, jonka minäkin olin osittain omaksunut. Muutettuani ajattelutapaa päinvastaiseksi pääsin algoritmimallien kehittämiseen paremmin kiinni ja oivalsin monia asioita. Työssä hyödynsin sekä teoreettista että käytännön osaamistani, mikä teki työn tekemisestä mielekäästä. Oli hienoa huomata, että mikään näistä osa-alueista ei ole opeteltu turhaan. Työn tekemisessä aiemmasta suunnittelukokemuksestani ja käytännön työkokemuksesta on ollut selvästi hyötyä.

Haluan kiittää Haahtela-yhtiöitä siitä, että he uskoivat minun pystyvän tähän työhön ja antoivat mahdollisuuden työn tekemiseen. Iso kiitos kuuluu työn valvojalle Kai Sirénille työstä saaduista kommenteista ja neuvoista. Sydämellinen kiitos myös työni ohjaajille Ari Pennaselle sekä Harri Ripatille matkan varrella saamistani neuvoista, joiden avulla olen päässyt mutkattomasti eteenpäin. Kiitos myös Haahtela-yhtiöiden työntekijöille, joilta sain neuvoja ja tukea työn aikana.

Työn aikana olen ottanut yhteyttä moniin yrityksiin ja henkilöihin. Haluan kiittää heitä ennakkoluulottomasta tavasta tehdä yhteistyötä. Juuri tällaista yhteistyöhenkeä rakennusala kaipaa yhä enemmän. Erityiskiitos yrityksille ja kaupungeille, jotka ovat antaneet suunnitelmia algoritmimallien testaamiseen. Yritykset ja kaupungit, jotka ovat omalla toiminnallaan edesauttaneet työn valmistumista: Aalto Yliopisto, Atolli Oy, ClimaConsult Finland Oy, Granlund Oy, Helsingin kaupunki, Insinööritoimisto AX-LVI Oy, Intelco Oy, Oulun kaupunki, Oy Aga Ab, ProMinent Finland Oy, Pöyry Finland Oy, Ramboll Finland Oy, Sarlin Oy Ab, Sa-Va Sairaala-Varuste Oy, SMC Pneumatics Finland Oy, Suomen Allaslaite Oy, Sähköpeko Oy, Sähköpeko Etelä-Suomi Oy, Tampereen kaupunki, Turun kaupunki, Wise Group Finland Oy ja Äänekosken kaupunki.

Yleisestä tukemisesta haluan kiittää aviomiestäni Sami Mäenpää, joka on tukenut minua henkisesti koko matkan ajan. Hän on antanut uskoa sekä neuvoja myös vaikeina hetkinä. Tukea olen saanut LVI-tekniikan käytännön näkökulmaan myös isältäni Kari Sillmanilta ja veljeltäni Marko Sillmanilta, joita haluan kiittää siitä. Kiitos myös muille perheenjäsenille ja sukulaisille, koska olette minua aina tukemassa.

Olen kiitollinen, että saan jatkaa matkaa näin hienojen ihmisten seurassa ja tiedän, etten ongelmien kohdatessa ole yksin. Lisäksi on hienoa huomata, miten paljon eri yritykset ovat halunneet auttaa. Vihdoin olen saavuttanut sen päätepisteen, johon tähtäsin jo pidempään. Haave eli unelmissa, mutta nyt se on todellinen.

Espoo 28.4.2014

Maria Mäenpää

Sisällys

Tiivistelmä	1
Abstract	2
Esipuhe ja kiitokset	4
Sisällys	5
Liitteet	7
Symbolit	8
Määritelmät	11
1 Johdanto	12
1.1 Tutkimuksen tausta.....	12
1.2 Diplomityön tavoite ja raja.....	12
1.3 Tutkimuksen toteutus	13
2 Tietomallintamisen tausta	14
2.1 Tietomallintamisen kehitys ja sen määrittelyjä	14
2.2 Tietomallien käytön ongelmia	17
3 Tietomallintaminen ennen suunnittelua	21
3.1 Asiakkaan päätöksentekoprosessi	21
3.2 Strateginen toimitilasuunnittelu	24
3.2.1 Toimitilasuunnittelu	24
3.2.2 Tavoitehintamenettely.....	27
4 Nimikkeistö	31
4.1 Nimikkeistön määrittelyjä	31
4.2 Nimikkeistöt Suomessa ja ulkomailla	32
4.3 Nimikkeistön tiedonsiirtotehtävät	35
4.4 Työssä kehitettyjen LVI-nimikkeistöjen suunnitteluperiaatteet.....	36
4.5 Järjestelmien kuvaaminen tuotantopaketeiksi	38
5 Algoritmimallit.....	40
5.1 Valitut algoritmimallit	40
5.2 Mallin ja tosimaailman väliset erot sekä mallin testaus	41
5.3 Kohdepoisto.....	44
5.3.1 Kohdepoistojärjestelmän tausta	44
5.3.2 Lähtö- ja lopputiedot	46
5.3.3 Mitoitus-algoritmi	47
5.3.4 Mallin testaus ja analysointi	51
5.4 Kostutus.....	53
5.4.1 Kostutusjärjestelmän tausta.....	53
5.4.2 Lähtö- ja lopputiedot	54
5.4.3 Mitoitus-algoritmi	54
5.4.4 Mallin testaus ja analysointi	57
5.5 Sairaalakaasu happi	58
5.5.1 Happijärjestelmän tausta	58
5.5.2 Lähtö- ja lopputiedot	60
5.5.3 Mitoitus-algoritmi	60
5.5.4 Mallin testaus ja analysointi	63
5.6 Teollisuuden paineilma	64
5.6.1 Paineilmajärjestelmän tausta	64
5.6.2 Lähtö- ja lopputiedot	66
5.6.3 Mitoitus-algoritmi	66
5.6.4 Mallin testaus ja analysointi	71

5.7	Uima-altaiden vedenkäsittely	73
5.7.1	Uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmän tausta	73
5.7.2	Lähtö- ja lopputiedot	77
5.7.3	Mitoitus-algoritmi	77
5.7.4	Mallin testaus ja analysointi	82
6	Johtopäätökset	85
7	Jatkotutkimukset	87
	Lähteet	88

Liitteet

Liite 1 Rakennusosanimikkeistö

Liite 2 Tuotantonimikkeistö

Liite 3 Rakennusosanimikkeistön testaus

Liite 4 Tuotantonimikkeistön testaus

Liite 5 Putkikoon valintataulukot

Symbolit

A	$[m^2]$	virtausaukon poikkipinta-ala
A_{allas}	$[m^2]$	uima-altaan pinta-ala
$A_{\text{henkilö}}$	$[m^2]$	henkilöä kohti tarvittava pinta-ala
c_{ph}	$[kJ/kg^{\circ}C]$	höyryn vertailutilan ominaislämpökapasiteetti
c_{pi}	$[kJ/kg^{\circ}C]$	ilman vertailutilan ominaislämpökapasiteetti
c_{pv}	$[kJ/kgK]$	veden ominaislämpökapasiteetti
d	$[m]$	putken tai kanavan sisähalkaisija
d_{mm}	$[mm]$	putken tai kanavan sisähalkaisija
f	$[1/h]$	sallittu käyntitiheys
f_t	$[-]$	kertavastuskerroin
h	$[kJ/kg]$	ominaisentalpia
h_{allas}	$[m]$	uima-altaan korkeus
h_h	$[kJ/kg]$	höyryn ominaisentalpia
h_{kerros}	$[m]$	kerrokorkeus
h_1	$[kJ/kg]$	ominaisentalpia ulkoilmassa
h_2	$[kJ/kg]$	ominaisentalpia lämmityksen jälkeen
h_3	$[kJ/kg]$	ominaisentalpia kostutuksen jälkeen
K_1	$[-]$	vaihtelevan käyttöpaineen korjauskerroin
K_2	$[-]$	kuluneiden koneiden korjauskerroin
K_3	$[-]$	koneiden hyväksikäyttöasteen korjauskerroin
K_4	$[-]$	koneiden yhtäaikaisuuden korjauskerroin
K_5	$[-]$	vuodon korjauskerroin
K_6	$[-]$	laajennustarpeen korjauskerroin
K_7	$[-]$	paineilmasäiliön tilavuuden korjauskerroin
K_8	$[-]$	hapon kaasuvakio
K_9	$[l/lkm,h]$	hapon vuosikulutuksen mitoituskerroin
k	$[mm]$	putken tai kanavan pinnankarheus
L_e	$[m]$	putkiosista aiheutuva vastaavuuspituus
L_{kok}	$[m]$	putkiston tai kanaviston kokonaispituus
$L_{\text{kytkentä}}$	$[m]$	kytkentäputkiston tai -kanaviston pituus
L_{runko}	$[m]$	runkoputkiston tai -kanaviston pituus
l_{vh}	$[kJ/kg]$	vesihöyryn vertailutilan latenttilämpö

n	[kpl]	pisteiden tai laitteiden lukumäärä
n_{kerros}	[kpl]	kerrosten lukumäärä
n_0	[1/h]	ominaiskäyntitiheys
n_{poisto}	[kpl]	poistolinjojen lukumäärä
$n_{\text{syöttö}}$	[kpl]	syöttösuuttimien lukumäärä
p	[Pa]	ilmanpaine
p_{abs}	[bar]	absoluuttinen käyttöpaine
p_h	[Pa]	vesihöyryn osapaine
p_m	[bar]	keskimääräinen absoluuttinen paine putkessa
$p'(T)$	[Pa]	kylläinen höyrynpaine
q_m	[kg/s]	massavirta
q_{mh}	[kg/h]	höyryn massavirta
$q_{m,ots}$	[g/h]	otsonaattorin massavirta
q_v	[m ³ /s]	tilavuusvirta
$q_{v,a}$	[m ³ /a]	kaasun vuosikulutus
$q_{v,jatkuva}$	[l/s]	jatkuva paineilmavirta
$q_{v,laite}$	[l/min]	yksittäisen paineilmalaitteen virtaama
$q_{v,mit}$	[m ³ /s]	verkoston mitoitusvirtaama
$q_{v,muuttuva}$	[l/s]	muuttuva paineilmavirta
$q_{v,2vko}$	[m ³ /2vko]	kaasun kulutus kahdessa viikossa
Re	[-]	Reynoldsin luku
T	[K]	lämpötila
T_{max}	[h]	veden maksimaalinen viipymä uima-altaassa
t	[s]	aika
x	[kg/kg,k.i.]	absoluuttinen kosteus
x_{allas}	[m]	uima-altaan pituus
x_{poisto}	[m]	poistoilmalaitteen ja poistettavan aineen välimatka
x_{rakennus}	[m]	rakennuksen pituus
x_1	[kg/kg,k.i.]	absoluuttinen kosteus ulkoilmassa
x_2	[kg/kg,k.i.]	absoluuttinen kosteus lämmityksen jälkeen
x_3	[kg/kg,k.i.]	absoluuttinen kosteus kostutuksen jälkeen
y_{allas}	[m]	uima-altaan leveys
y_{rakennus}	[m]	rakennuksen leveys

V	$[m^3]$	uima-altaan tilavuus
V_h	$[m^3]$	huuhteluvesimäärä
$V_{kaasulähde}$	$[m^3]$	kaasulähteen sisältämä kaasumäärä
$V_{käynti}$	$[m^3]$	käyntiä kohden puhdistettava vesimäärä
V_l	$[m^3]$	loiskeveden määrä
V_s	$[m^3]$	uimareiden syrjäyttämä vesimäärä
$V_{säiliö}$	$[m^3]$	paineilmasäiliön tilavuus
V_{tas}	$[m^3]$	tasausaltan tilavuus
v	$[m/s]$	virtausnopeus
λ	$[-]$	kitkakerroin
ν_{vesi}	$[m^2/s]$	veden kinemaattinen viskositeetti
ρ_i	$[kg/m^3]$	ilman tiheys
ρ_v	$[kg/m^3]$	veden tiheys
$\Phi_{ylös}$	$[kW]$	uima-altaan lämmönsiirtimen ylöslämmityksen tehontarve
φ	$[\%]$	suhteellinen kosteus
Δh	$[kJ/kg]$	ominaisentalpian muutos
Δp	$[bar]$	paineilmaverkoston paine-ero
Δp_{ker}	$[Pa]$	kertavastusten aiheuttama painehäviö
Δp_{kit}	$[Pa]$	kitkavastusten aiheuttama painehäviö
Δp_{kok}	$[Pa]$	kokonaispainehäviö
ΔT	$[K]$	kylmän veden ja uima-altaan välinen lämpötilaero
Δx	$[kg/kg, k.i.]$	absoluuttisen kosteuden muutos

Määritelmät

Algoritmimalli	Algoritmimallilla tarkoitetaan täsmällistä menettelytapaa, jonka avulla ratkaistaan jonkin LVI-järjestelmän tai sen osan laskennallinen ongelma.
BIM	Lyhenne BIM tulee englanninkielisistä sanoista building information model, jolla tarkoitetaan rakennuksen tietomallia.
Nimikkeistö	Nimikkeistö on systemaattinen tietojen hallinnan joukko. Nimikkeistön avulla pyritään selkeyttämään ja helpottamaan eri osapuolten välistä tiedonsiirtoa.
Rakennuksen tietomalli	Rakennuksen tietomalli on rakennukselle asetettavien vaatimusten ja rakennuksen fyysisten ominaisuuksien digitaalinen kuvaus. Työssä rakennuksen tietomallista on käytetty myös pelkkää tietomalli käsitettä.
Strateginen toimitilasuunnittelu	Investointipäätösten tueksi kehitetty palautteenantomenettely, joka käyttää hyväksi toimitilasuunnittelua ja tavoitehintamenettelyä.
Tavoitehintamenettely	Tavoitehintamenettelyssä viitataan englanninkieliseen termiin target costing. Tavoitehintamenettelyllä ei tässä työssä tarkoiteta rakennusosalalla käytettyä urakointimuotoa, vaan menettelyä, jossa rakennuksen kustannukset ja vaatimukset määritellään ennen suunnitteluvaihetta.
Tilaaja	Rakennushankkeen käynnistävä taho, joka rahoittaa hankkeen.
Toimitilasuunnittelu	Toimitilasuunnittelu on apukeino hankkeen määrittelyyn. Sen avulla luodaan tuote, jolla vastataan organisaation tarpeisiin ja toimintoihin.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakentamisen toimintaympäristö muuttuu koko ajan monimutkaisemmaksi ja samalla päätöksiä pitää pystyä tekemään yhä nopeammissa aikatauluissa. Aikaisen kustannustiedon puuttuminen johtaa tilaajan kannalta väärin päätöksiin, jatkuvaan uudelleen suunnitteluun ja suunnitelmien karsimiseen. Rakennushankkeita koskevia päätöksiä tehdään liian myöhään, koska riittävän tarkka hankkeen hinnoittelu voidaan suorittaa vasta suunnitelmien valmistuttua. Tällä hetkellä rakennusosalta puuttuu arviointikeino, jolla hankkeet voitaisiin hinnoitella tavoitteellisesti jo ennen suunnittelua. Arviointikeinon ja samalla nopean palautteen puuttuessa, päätöksentekoa siirretään hankkeen myöhäisempiin vaiheisiin ja vaikeutetaan hankkeiden etenemistä suunnitelmien muuttumisen myötä.

Nykyisen suunnittelu-hinnoittelu-ketjun ongelmana on se, että erilaiset vertailut ja päätökset voidaan tehdä vasta suunnittelun jälkeen. Tällöin kuitenkin hanketta koskevien päätösten tekeminen on myöhäistä, sillä ne aiheuttavat suunnitteluun ja tuotantoon väistämättä hitautta. Nykyinen tietomallintaminen ei tue riittävästi rakentamista, sillä rakennuksia ja niiden kustannuksia ei onnistuta kuvaamaan hankesuunnitteluvaiheessa, jossa nopea palautteen saaminen on välttämätöntä. Tämän työn aihe on rakentamisen toimintaympäristölle tärkeä, koska työssä täydennettävällä tietomallilla voidaan vähentää rakentamisen hitautta ja antaa päätöksentekijöille puuttuva arviointikeino.

Työn aihe on saatu Haahtela-kehitys Oy:ltä, jonka tarkoituksena on luoda perusteet, menetelmät ja näihin soveltuva aineisto strategisen toimitilasuunnittelun toteutukselle. Haahtela-kehitys Oy:n kehitystyön tulokset tuotteistetaan ohjelmistoiksi, joiden avulla asiakkaat voivat esimerkiksi hinnoitella hankkeita. Haahtela-kehitys Oy on teettänyt vastaavanlaisia diplomitöitä jo aiemmin. Suunnittelua simuloivista algoritmeista Juha Sirén teki sähkötekniikan diplomityön ”Rakennuksen sähköjärjestelmien määrittelemineen tavoitehinnoittelukonseptin mukaan”, ja hankintajakoa koskevan rakennustekniikan diplomityön ”Rakennusosien jakaminen hankinnoiksi rakennustuotantoa varten” teki Sami Rämänen.

1.2 Diplomityön tavoite ja raja

Rakennuksen tietomalli (BIM) on rakennukselle asetettavien vaatimusten ja rakennuksen fyysisten ominaisuuksien digitaalinen kuvaus. BIM muodostaa luotettavan tietopohjan päätöksenteolle rakennuksen koko elinkaaren ajaksi. Tietomallin tiedon on oltava käytökelpoista monista eri näkökulmista katsottuna (tilaaja, suunnittelija, rakentaja, käyttäjä). (National Institute of Building Sciences 2014)

Tietomalli on formaali kuvaus ominaisuuksista ja riippuvuussuhteista (National Institute of Building Sciences 2014). Tässä työssä formaali kuvaus tarkoittaa määrämuotoista rakennuksen ominaisuuksien kuvaamista sekä määrämuotoista nimikkeistöä, joilla järjestelmät kuvataan. Kuten myöhemmässä vaiheessa todetaan, nykyiset rakennusten tietomallit ovat suunnittelukeskeisiä ja ne antavat hyvin vähän tietoa investointipäätösten tueksi. Tällä hetkellä rakennusten tietomallit toimivat yleensä visuaalisessa käyttöliittymässä ja niitä käytetään pääosin visuaalisiin tarkasteluihin. Tämän työn tavoitteena on

luoda periaatteet rakennusten LVI-järjestelmien tietomallintamiselle ennen suunnittelua siten, että malli käsittelee yhtä aikaa rakennusta

- tilaajan näkökulmasta tiloilta haluttavina olosuhteina ja palveluina
- suunnittelijan näkökulmasta sellaisina järjestelminä, joilla olosuhteet ja palvelut voidaan tuottaa
- tuotannon näkökulmasta sellaisina hankintoina, joilla järjestelmät voitaisiin ostaa.

Työ on rajattu siten, että LVI-järjestelmien tietomallintamisen periaatteet ennen suunnittelua kuvataan suppealla joukolla järjestelmiä. Joukoksi on valittu vain muutamia järjestelmiä, jotta työmäärä pysyy kohtuullisena. Tämän valitun joukon avulla osoitetaan ennen varsinaista suunnitteluvaihetta tehtävän tietomallintamisen käyttökelpoisuus. Kuvaus toteutetaan ominaisuuksista formaalissa nimikkeistössä kuvatuksi järjestelmiksi, hinnoittelun perusteena olevaksi määräluetteloksi ja siitä edelleen hankintakokonaisuudeksi. Työhön ei sisällytetä varsinaista hintamallia, vaan algoritmimallit testataan määriin perustuen todellisilla hankkeilla. Työn esimerkkijärjestelmiksi on valittu kostutus, kohdepoisto, sairaalakaasu happi, teollisuuden paineilma sekä uima-altaiden vedenkäsittely.

1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksessa tutustutaan tietomallintamiseen ja strategiseen toimitilasuunnitteluun, sekä selvitetään niiden nykytilaa ja tarkoitusta. Lisäksi työssä perehdytään siihen, mitä ominaisuuksia tietomalleilta vaaditaan ja mitä puutteita niissä tällä hetkellä on. Työn vaiheet jaetaan kirjallisuuskatsaukseen, olemassa olevien nimikkeistöjen tutustumiseen, nimikkeistöjen kehittämiseen, nimikkeistöjen testaamiseen, algoritmimallien kirjallisuuden tutustumiseen, algoritmimallien kehittämiseen ja algoritmimallien testaamiseen. Työssä luodaan LVI-nimikkeistöt, joilla LVI-järjestelmät voidaan määrämuotoisesti kuvata. Valittujen järjestelmien osalta, työssä luodaan muuntoalgoritmit, joilla tilaajan määrittelemät ominaisuudet (lähtötiedot) voidaan kuvata niitä tuottaviksi järjestelmiksi (lopputiedot).

Kirjallisuuden lisäksi tutkimuksessa tutustutaan todellisiin hankkeisiin, joiden avulla varsinainen algoritmimallien sekä nimikkeistöjen testaus suoritetaan. Kukin algoritmimalli testataan yhdellä todellisella hankkeella, koska suunnitelmien saaminen on hankalaa. Nimikkeistöt testataan todellisella hankkeen tarjouslaskennan määräluettelolla, jolloin pystytään vakuuttumaan nimikkeistön käyttökelpoisuudesta. Työssä käytetään myös apuna laitevalmistajia sekä käytännön työtä tekeviä henkilöitä erilaisten ongelmien ratkaisemiseksi, sillä kaikista järjestelmistä ei kirjallisuudesta löydy riittävästi tietoa. Edellä kuvattu menettely on tärkeä myös siitä näkökulmasta, että algoritmimalleja luodaan käytännön elämää varten. Tästä syystä mahdollisten käyttäjien näkökulman saaminen on tärkeä osa työtä.

2 Tietomallintamisen tausta

Tässä kappaleessa käsitellään tietomallintamisen kehitystä ja sen määrittelyjä sekä tietomallien käytön ongelmia. Tietomallin ymmärtämien on oleellinen osa työtä, koska työssä tehtävät suunnittelua simuloivat algoritmimallit tulevat täydentämään LVI-tekniikan osuutta nykyiseen Haahtela TAKU®-tietomalliin.

2.1 Tietomallintamisen kehitys ja sen määrittelyjä

Perinteinen CAD-suunnittelu koostuu 2D- ja 3D-suunnittelusta. Tällä tarkoitetaan sitä, että suunnitelmat tehdään tietokoneavusteisesti kahteen tai kolmeen ulottuvuuteen. 2D-suunnittelussa käytetään ulottuvuuksina pituutta sekä leveyttä. 2D-suunnittelussa rakennusta kuvataan piirustuksina, osina ja leikkauksina. 3D-suunnittelu eroaa 2D-suunnittelusta siten, että pituuden ja leveyden lisäksi siinä mallinnetaan myös syvyys. Tästä syystä 3D-suunnittelulla pystytään visualisoimaan paremmin rakennuksia sekä niiden järjestelmiä. Lyhenne CAD tulee englanninkielisistä sanoista computer aided design, millä tarkoitetaan tietokoneavusteista suunnittelua. (Azhar, Hein & Sketo 2011, s.1, Laine 2008, s.3, Kotimaisten kielten keskus 2014, Wikipedia 2013)

CAD-järjestelmien kehittyessä tietoa haluttiin siirtää tehokkaammin eri toimijoiden välillä, jonka seurauksena pääpaino piirtämisestä ja 3D-malleista on siirtynyt itse tietoon. Tietomallintamista voidaankin pitää tietokoneavusteisen CAD-suunnittelun jatkumona. CAD-suunnittelu kehittyi aikoinaan käsin piirtämisestä, kun taas tietomallintaminen on kehittynyt CAD-suunnittelusta. Suurin ero CAD-suunnittelun ja tietomallintamisen välillä on se, että tietomallintamiseen osallistuu kerrallaan paljon suurempi joukko eri alan osajia, jonka vuoksi myös kokonaistietomääräkin on suurempi. Tämän lisäksi tietomallintaminen eroaa komiulotteisesta mallintamisesta siten, että kolmiulotteisen muodon mallinnuksen lisäksi tietomalleissa on rakennuksen osien ja niihin liittyvien tietojen kuvaus. Visuaalisesti tietomalli yleensä ilmenee kuitenkin komiulotteisen mallin tavoin. Weygant (2011) yksinkertaistaa tietomallintamisen tietokoneavusteisen suunnittelun ja teknisten tietojen yhteenliittymäksi. (Eastman 2011, s.15, Laine 2008, s.3, Weygant 2011, s.vii,10)

Viime vuosina rakennusten tietomallintaminen on saanut laajan huomion, jonka vuoksi maailman johtavat arkkitehti-, insinööri- ja rakennusyritykset ovat hylänneet aikaisemman piirustus pohjaisen CAD-teknologian, ja ovat ottaneet käyttöön tietomallit. Tietomallien avulla eri alan osajien on helpompi nähdä virheet ja hahmottaa selkeämmin mitä ollaan rakentamassa. Pentikäisen (2014) mukaan tietomallintamisesta on ollut hyötyä rakentamisprosessin kannalta, sillä eri tekniikoiden väliset törmäilyt on huomattu ennen rakentamista. Tällä menettelyllä vältetään purkamiselta ja uudelleen rakentamiselta eli ns. ”turhalta työltä” ja niiden aiheuttamilta kustannuksilta. Rakennusten ja tekniikan visualisointi on Pentikäisen mukaansa auttanut osapuolia ymmärtämään kokonaisuutta paremmin. Tietomalleilla ei tarkoiteta pelkästään teknologian muutoksia, vaan myös prosessien muutoksia. Tietomallintaminen on Eastmanin (2011) mukaan ennemmin ihmisten kehittyvää toimintaa rakentamisprosessissa, kuin pelkkä sovellus. (Azhar, Hein & Sketo 2011, s.1, Eastman 2011, s.vii,353, Pentikäinen 2014)

Kaikki tietokoneella käsitelty data perustuu pohjimmiltaan johonkin tietomalliin. Rakennusten tietomallintamisesta käytetään kirjallisuudessa kahta eri nimitystä: tuotemallintamista ja tietomallintamista. Viime aikoina kuitenkin lyhenteen BIM käyttö on yleistynyt ja tällä käsitteellä onkin pyritty painottamaan sitä, että rakennuksia koskevat mallit ovat nimenomaan tietojen malleja. Rakennusten tietomalleilla pyritään kuvaamaan itse rakennusta, sen sisäisiä järjestelmiä ja niiden toimintaa. Rakennuksen tuotemalli nimityksen käyttö ei sovellu rakennuksiin, koska rakennusten kohdalla ei ole kyse pelkästään valmistajien tuotteiden valinnoista. (Hietanen 2005, s.22,26, Laine 2008, s.7, Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006, s.3)

Järvisen (2014) mukaan rakennuksen tietomallintaminen on prosessi rakennuksen suunnittelun tekemiseen ja tapa toimia yhteistyössä muiden hankkeiden osallistujien kanssa. Pentikäinen (2014) on sitä mieltä, että tietomallintaminen on perinpohjaista hyvää suunnittelua, jossa eri suunnittelualat integroituvat toisiinsa. Korpelan (2012) mukaan tietomallintamisella tarkoitetaan rakennuksen kolmiulotteista suunnittelua siten, että rakennushankkeessa tarvittava tieto tallennetaan tietomalliin parametrimuotoisia objekteja käyttäen. Azhar, Hein ja Sketo (2011) määrittelevät rakennuksen tietomallin kehityksen osoittamiseksi tietokoneavusteisen n-dimensionaalisen mallin avulla, joka simuloi suunnittelua, rakenteita ja rakennuksen toimintaa. Laine (2008) määrittelee tietomallintamisen kokonaisvaltaiseksi, integroiduksi tavaksi hallita rakennushankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Laineen mukaan myös tietomallien avulla rakennusten suunnittelussa, toteutuksessa sekä käytössä ja ylläpidossa tarvittava tieto on hallittavissa paremmin kuin perinteisessä menettelyssä. Penttilän, Nissisen ja Niemiojan (2006) mukaan tietomallilla kuvataan tuotteen rakenne ja se sisältää tuotteen tuottamiseen sekä käyttämiseen tarvittavat tiedot. Hietasen (2005) mukaan tietomallit ovat uusi tapa tuottaa, käsitellä ja välittää tietoa. Howell ja Batcheler (2005) määrittelevät rakennuksen tietomallin systeemiksi, jossa kootaan kaikki suunnitelman älykkäät objektit yhteen tietokantaan tai virtuaaliseen rakennukseen. Heidän mukaansa rakennuksen tietomalli tarjoaa yhtenäisen tietokannan asioiden yhtenäistämiseen. Karstila (2004) määrittelee rakennuksen tietomallin rakennuksen ja rakennusprosessin elinkaaren aikaiseksi tuotetietojen kokonaisuudeksi. Laakko (1998) määrittelee tietomallin tavaksi esittää tuotteen koko elinkaaren aikainen tieto yksikäsitteisessä muodossa. Hänen mukaansa rakennuksen tietomalli toimii tuotetta koskevien kysymysten ja tuotteeseen kohdistettavien toimenpiteiden tiedonlähteenä. (Azhar, Hein & Sketo 2011, s.1, Karstila 2004, s.10, Hietanen 2005, s.28, Howell & Batcheler 2005, s.2, Järvinen 2014c, Korpela 2012, s.1, Laakko 1998, s.10, Laine 2008, s.7, Pentikäinen 2014, Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006, s.3)

Kuten edellisestä kappaleesta voidaan havaita, määritelmiä rakennusten tietomalleille on yhtä paljon kuin määrittelijöitäkin. Selkeää vakiintunutta määritelmää rakennusten tietomallille ei ole olemassa. Useita edellä mainittuja määritelmiä yhdistää kuitenkin muutama seikka. Monissa määritelmissä on kuvattu rakennuksen tietomallia kokonaisuutena, joka sisältää suuren määrän tietoa. Tämän lisäksi monissa määritelmissä kuvataan sitä, että tietomallintaminen on rakennuksen koko elinkaaren aikainen prosessi, joka suoritetaan yhteistyössä.

Rakennusten tietomallit ovat komiulotteisia ja käsittävät arkkitehti, rakenne ja taloteknisiä malleja. Tietomallintamiseen liitetään yleisesti paljon erilaisia tavoitteita ja odotuksia. Kiinteistöjen ja rakennusten tietomallinnuksen tavoitteena on suunnittelun, rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden, kestävä kehityksen sekä hanke- ja elinkaari prosessien tukeminen. Tietomalleja pyritään käyttämään rakennuksen koko elinkaaren ajan erilaisiin toimintoihin, suunnittelusta – käyttöön ja ylläpitoon asti. Tietomallien avulla on

mahdollista vertailla ratkaisuja ja tehdä erilaisia laskelmia suunnittelun sekä käytön ja ylläpidon tueksi. Suurimmat odotukset tietomallien osalta kohdistuvat lähinnä siihen, miten erillissuunnittelua yhdistämällä voitaisiin eliminoida virheet ja parantaa rakentamisen laatua. (Kerosuo et al. 2012, s.1, LVI 03-10491 2012, s.5)



Kuva 1. Tietomallintamisen tulevaisuuden mahdollisuudet (LVI 03-10491 2012, s.2).

Tietomallintamisen tulevaisuuden mahdollisuudet on esitetty kuvassa 1. Tietomallintamisen avulla, voidaan tulevaisuudessa vertailla erilaisia ratkaisuja helpommin. Tietomallit mahdollistavat myös kustannusarvioiden tekemisen eri toteutusvaihtoehtojen välillä sekä energiankäytön arvioinnin, kun rakennuksesta on enemmän tietoa käsillä. Suunnitelmia voidaan toteutuksen näkökulmasta arvioida paremmin, koska erilaisten järjestelmien tilantarpeet voidaan havainnoida selkeästi jo suunnitteluvaiheessa. Tieto on dokumentoitu paremmin ja se on laajemman joukon saatavilla. Suunnitteluprosessia voidaan tehostaa, kun mitoituksia ja muita laskelmia ei tarvitse tehdä käsin, vaan tietokone tekee ne suunnittelijan puolesta. (LVI 03-10491 2012, s.2)

Tietomalleissa ei ole 2D-suunnittelun kuvien päivittymisongelmaa, koska malli tekee automaattisesti 2D- ja 3D-näkymää. Oletuksena tietysti on, että suunnittelija osaa ne oikein suunnitella. Rakennuksen tietomallissa kaikki rakennukseen liittyvä tieto on projektin tietokannassa älykkäänä objektina. Tietomallien avulla suunnittelutyö muuttuu konkreettisemmäksi ja havainnollisemmaksi, mikä osaltaan helpottaa hyvään lopputulokseen pääsyä. Tietomallin avulla tietoa voidaan tallentaa ja siirtää osapuolten välillä nopeammin, luotettavammin ja tehokkaammin perinteisiin menetelmiin verrattuna. LVI-järjestelmien osalta tietomallien avulla voidaan mm. nopeuttaa tarjouslaskentavaihetta keräämällä

”massalistat” suoraan tietokannasta, jolloin varsinainen laskentavaihe on mahdollista teoreettisesti jättää pois. (Azhar, Hein & Sketo 2011, s.1, Laine 2008, s.7, Rakennustieto Oy 2013, s.1)

Järvisen (2014) mukaan kaikissa heidän hankkeissaan käytetään tietomallinnusta hyväksi. Tietomallintamisen taso määritellään Järvisen mukaan koko ajan paremmin, koska hankkeiden tilaajat alkavat oppia käytäntöä. Hän on kokenut, että tietomallintamisesta on ollut hyötyä rakentamisprosessiin ja sen avulla on saatu aikaan laadukkaampia lopputuloksia. Järvisellä on tietomallintamisesta positiivinen kuva, koska hän on nähnyt sen tuomat hyödyt noin 20 vuoden ajalta. Nykyiset tietomalliohjelmistot toimivat riittävän hyvin, vaikka mikään ohjelmisto ei ole täydellinen. Suunnittelijoilla on Järvisen mukaan hyvä tietotaito mallintamiseen ja suurimmalla osalla suunnittelijoista on myös hyvä asenne. Asenneongelmat johtuvat Järvisen mukaan pääosin sopimusteknisistä ongelmista. Tietomallintaminen on vienyt alaa eteenpäin, koska suunnitelmien tarkkuus on parantunut, verkostojen tasapainotus on arkipäivää sekä säätötekniikka on matemaattisesti kunnossa. Tietomallintaminen palvelee Järvisen mukaan tällä hetkellä parhaiten urakoitsijoita, mutta usein he eivät osaa käyttää tietomallin tietoa hyödyksi. Tietomallintaminen nostaa hankkeen kustannuksia noin 15 %, jos käytetään koordinoitua mallinnusta yhdessä muiden suunnittelijoiden kanssa. Tietomallintaminen vähentää kuitenkin Järvisen mukaan tilaajalle kohdistuvaa kokonaiskustannusta. Hän ei osaa arvioida onko tietomalliprojekteissa saman verran, enemmän vai vähemmän ongelmia, kuin sellaisissa projekteissa, joita ei mallinneta. Järvinen kuitenkin epäilee, että kohteissa, joita ei mallinneta, on vähemmän ongelmia suunnitteluvaiheessa. Tämä johtuu lähinnä siitä, että ongelmat siirtyvät työmaan ratkaistavaksi. (Järvinen 2014c)

Pentikäisen (2014) mukaan tietomalleja käytetään puolessa uudiskohteissa ja peruskorjauskohteissa vähemmän. Hän on sitä mieltä, että nykyiset tietomalliohjelmistot toimivat ihan hyvin, mutta ne vaativat työasemilta paljon. Tietomallintaminen on Pentikäisen mukaan suurin parannus rakennusosalalla pitkään aikaan. Pentikäisellä on positiivinen kuva tietomallintamisesta ja mallinnuskokemuksen kautta tietomalleja osataan tehdä yhä paremmin ja sitä kautta myös ongelmat niissä vähenevät. Hänen mukaansa mallinnuskoh-teissa rakennusaikaiset ongelmat vähenevät. Pentikäinen mainitsee suunnittelijoiden tietotaidossa ja asenteissa olevan hyvin paljon eroja eri toimistojen välillä. Hänen mukaansa tulisi ymmärtää paremmin se asia, että pelkkä 3D-piirtäminen ei vielä ole mallintamista. Tietomallien kaikkien hyötyjen käyttäminen riippuu päätoteuttajasta. Osa käyttää tietomallia pelkästään törmäystarkasteluihin, toiset jopa työmaan logistiikkaan. Tietomallintaminen palvelee Pentikäisen mukaan parhaimmin työn tekemistä eli urakoitsijoita. Pentikäinen toteaa, että valmistajien tulisi laajentaa omien tuotteidensa mallintamista, jotta ne olisivat käytössä suunnitteluohjelmissa. (Pentikäinen 2014)

2.2 Tietomallien käytön ongelmia

Rakennusten elinkaari alkaa hankkeen määrittelystä, jonka jälkeen rakennus suunnitellaan ja rakennetaan. Koko rakennuksen elinkaaresta suurin osa ajallisesti koostuu rakennuksen käytöstä, jonka jälkeen elinkaari päättyy mahdolliseen purkamiseen. Rakennuksen tietomalli muodostaa luotettavan tietopohjan päätöksenteolle koko rakennuksen elinkaaren ajaksi (Kankainen & Junnonen 2001, s.9, National Institute of Building Sciences 2014).

Tietomallintaminen on kehittynyt viime aikoina hyvin paljon sekä Suomessa että ulkomailla. Tietomallit ovat olleet esillä jo varsin kauan, mutta niitä käytetään Suomessa kuitenkin vasta pienessä osassa rakennushankkeita. Lähinnä suuret rakennusliikkeet vaativat tietomallintamisen käyttöä rakennushankkeissaan. Järvisen (2014) mukaan Suomi on jäär-mässä muiden maiden varjoon fiksujen rakennushankkeiden tekijänä. Järvisen mukaan Yhdysvallat, Englanti ja Norja ovat osanneet toimia riittävästi yhteistyössä ja ottaa uusia menetelmiä käyttöön. Mallintaminen ja tietomallin käyttö on yleistynyt tasaisesti, mutta tietomalleja ei pystytä hyödyntämään vielä riittävän hyvin. (Hellsten 2010, Järvinen 2014a, Korpela 2012, s.2, Laine 2008, s.3, Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006, s.3,8)

Tietomallintamisen käytön ongelmiksi on lueteltu seuraavia asioita (Eastman 2011, s.352, Hellsten 2010, Järvinen 2014b, Järvinen 2014c, Kerosuo et al. 2012, s.1, Korpela 2012, s.2,11,18-19, Laine 2008, s.11, LVI 03-10491 2012, s.5, Rakennustieto Oy 2013, s.1-2, Pentikäinen 2014, Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006, s.3,8)

- tietomallintamiseen käytetyt ohjelmistot eivät vastaa tarvetta
- tietomallien käyttö lisää työmäärää, mutta hintoja ja aikatauluja halutaan kiristää
- tietomallintamisen käytäntöä tai työmenetelmiä ei hallita
- tietomallissa on suuri tietomäärä, mutta sitä ei osata hyödyntää
- tietomallien käyttäjillä on liian vähäinen koulutus
- rakentamisen laatu ei tietomallin avulla parane
- kaikkia mallinnustyökalujen ominaisuuksia ei osata hyödyntää
- tietomallien tarkkuudessa ja laajuudessa on epäselvyyksiä
- tietomallien suunnitelmien laatu ei vastaa odotuksia
- tieto ei kulje tietomallin kautta
- muutosvastarinta
- suomalainen rakentamisprosessi, jossa pienillä toimijoilla ei ole valmiuksia ja mahdollisuuksia hyödyntää tietomallia
- osa urakoitsijoista kuvittelee, että 3D-mallit ovat asennussuunnitelmia
- valmistajien tuotetietokannat ovat puutteellisia
- tietomallintaminen lisää hankkeen suunnittelukustannuksia
- sopimustekniikassa ja yhteistyössä on kehitettävää.

Edellä mainitut tietomallintamisen käytön ongelmat liittyvät lähes poikkeuksetta varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen, jonka vuoksi ne eivät työssä kehitettävän tietomallintamisen kannalta ole oleellisia. Tästä syystä on pohdittava enemmän aihetta hankesuunnitteluvaiheen tietomallintamisen kannalta ja uusilta tietomalleilta vaadittavina ominaisuuksina. Näihin aiheisiin on perehdytty kirjallisuuden ja LVI-suunnittelijoiden haastattelujen avulla.

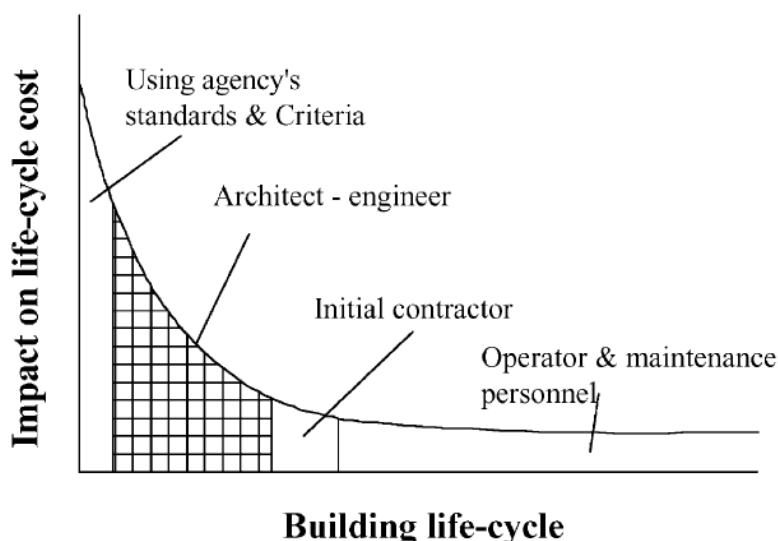
Järvisen (2014) mukaan tietomalleja ei käytetä hankesuunnitteluvaiheesta käyttöön ja ylläpitoon asti, vaan tieto hukkuu matkalla. Osaoptimointi on hänen mukaansa edelleen tietomallintamisessa vallassa. Järvisen mukaan tietomallintamisen kaikkia hyötyjä ei osata käyttää hyväksi ja niitä käytetään tällä hetkellä suurimmaksi osaksi vain visuaaliseen tarkasteluun. Järvisen mukaan rakennushankkeiden päätöksiä tekevät väärät henkilöt, jonka vuoksi elinkaariajatuksiin ei saada vastakaikua. Investointikustannukset menevät hänen mukaansa elinkaariajattelun edelle. (Järvinen 2014c)

Järvisen (2014) mukaan viime aikoina on tullut vastaan yhä enemmän projekteja, joissa vaiheistus on täysin sekaisin. Näissä hankkeissa tilaajilla on yhä enemmän vääriä luuloja siitä, mitä tietomallintamisella saadaan aikaiseksi. Usein hankesuunnitteluvaiheessa

suunnittelijat huomaavat tekevänsä yleissuunnittelua ja tilaajat haluavat nähdä jopa törmäystarkasteluja, vaikka suuri määrä lähtötietojakin puuttuu. Merkittävä ongelma hankesuunnitteluvaiheessa on se, että tarkkuustaso on aivan liian tarkka suunnitteluvaiheeseen verrattuna. Järvisen mukaan suomalainen vaiheistusmenettely on hyvä ja sitä pitäisi noudattaa, jotta hyvään lopputulokseen päästään. Suunnittelua pitää hänen mukaansa laajentaa ja aikaistaa, mutta samalla se vaatii myös muiden panosta yhä enemmän. (Järvinen 2014b)

Pentikäisen (2014) mukaan tietomallinnusta käytetään hankesuunnitteluvaiheessa sekä käytössä ja ylläpidossa hyvin vähän. Hänen mukaansa tällä hetkellä ei ole olemassa tietomallia, joka mallintaisi LVI-järjestelmiä sekä niiden kustannuksia hankesuunnitteluvaiheessa. Tietomallien kytkemistä käyttöön ja ylläpitoon asti pitäisi hänen mukaansa viedä eteenpäin. Pentikäisen mukaan tietomallintamisessa tulee ottaa paremmin huomioon eri suunnittelualojen vaiheistus, jotta vältetään kahdenkertaiselta työltä. Käytännössä siis pitää varata riittävä aika kullekin suunnittelualalle. Tässä on hänen mukaansa vielä selvästi parannettavaa niin suunnittelijoilla, kuin hankkeen laatijoilla. (Pentikäinen 2014)

Jotta saataisiin todellisia tuloksia aikaan, pitäisi uudet kehitetyt ohjelmistot yleisesti hyväksyä ja tulla käytetyksi suunnittelijoiden keskuudessa. Suurimpina esteinä kehitykselle näyttäisivät olevan työkalujen monimutkaisuus ja niiden liittäminen toisiinsa. Uudet ohjelmistot tulisi kehittää yhteistyössä suunnittelijoiden ja muiden käyttäjien kanssa, jotta ne vastaisivat mahdollisimman hyvin käytännön tarpeita. Suurin tarve tällä hetkellä on käyttäjäystävällisille ja helppokäyttöisille työkaluille. Niihin tulisi syöttää mahdollisimman vähän lähtötietoja ja antaa vastaus nopeasti. Nämä ominaisuudet tarvitaan, jotta työkalut ovat käyttökelpoisia myös hankkeen alkuvaiheessa, jossa tietoa on saatavilla hyvin rajoitettu määrä. Tällaisilta työkaluilta vaaditaan kuitenkin samalla myös kykyä siirtää tietoa monimutkaisempiin ja yksityiskohtaisempiin suunnitteluohjelmiin, jotta tietojen avulla voidaan tehdä myöhemmin erilaisia tarkempia analyyseja. (Ellis & Mathews 2002, s.641-642)



Kuva 2. Hankkeen osallistujien vaikutukset elinkaarikustannuksiin (Ellis & Mathews 2002, s.642).

Kuvasta 2 voidaan havaita, kuinka suuri merkitys insinöörijoukolla on rakennusten elinkaarikustannuksiin. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää, että osataan hyödyntää olemassa olevia laskenta- ja suunnittelutyökaluja, jotta rakennuksista saadaan mahdollisimman hyvin tarkoituksiaan vastaavia.

Integroituja suunnittelutyökaluja pidetään seuraavana sukupolvena rakennussuunnittelussa. Näiden ohjelmistojen kehitykseen on muutamia syitä: nykyisten ohjelmien puutteellinen toiminta monimutkaisessa ympäristössä ja nopean tietojen jakamisen tarve sekä nopea palautteen anto eri toimijoiden välillä. Integroimalla erilaisia suunnittelutyökaluja saadaan parempia lopputuloksia ja nopea palaute aikaan. Kun nämä työkalut yhdistetään vielä taloudellisiin analyyseihin, saadaan yhtenäinen kokonaisuus, jolla voidaan valita paras ratkaisu jokaiseen hankkeeseen. Toinen hyöty taloudellisissa analyyseissä on se, että niiden avulla voidaan vakuuttaa hankkeen tilaajat erilaisiin energiansäästötoimenpiteisiin. Aiemmin kiinnostus on ollut melko heikkoa, koska eri asioita ei ole havainnollistettu riittävän hyvin. Ongelmana integroiduissa työkaluissa on kuitenkin se, että ne ovat usein monimutkaisia käyttää ja niiden käyttämiseen tarvitaan aikaa, jota käytännössä hankkeen missään vaiheessa ei ole. (Ellis & Mathews 2002, s.644)

Tietokoneavusteisten ohjelmien käytön avulla voidaan saada suuri tehokkuus ja energiansäästö aikaiseksi. Tätä potentiaalia ei kuitenkaan täysin hyödynnetä, koska vain harva suunnittelija osaa hyödyntää kaikkia käytössä olevia työkaluja. Suurin syy käyttämättömyyteen on se, että ohjelmistot on rakennettu aivan liian monimutkaisiksi. Usein ohjelmistojen käyttöön tarvitaan valtava määrä yksityiskohtaista tietoa, jota ei hankkeiden alkuvaiheissa ole käytettävissä. Kuitenkin juuri hankkeiden alkuvaiheissa tehdään ratkaisuvia päätöksiä rakennuksen elinkaarikustannusten kannalta. Erilaisia tarkasteluja ei voida tehdä ennen kuin rakennus on suunniteltu, jolloin niiden käyttö on myöhäistä. Sama ilmiö toistuu myös kustannusten ja materiaalien arvioinnin kanssa. Kustannukset saadaan selville vasta valmiista suunnitelmista tehdystä hinnoittelusta, mikä ajaa hankkeita sietämättömiin tilanteisiin aikataulujen kanssa. (Ellis & Mathews 2002, s.647)

Uusien kehitettävien suunnittelutyökalujen tulisi olla käytännönläheisiä ja vastata insinöörien tarvetta paremmin. Monimutkaisuutta on syntynyt, koska tutkijat ja tieteenharjoittajat ovat suunnitelleet ja kehittäneet ohjelmistoja, jotka eivät vastaa käytännön tarvetta. Käytännön elämässä tarvitaan yksinkertaisia työkaluja, mutta nykyään kuitenkin kehitetään hyvin yksityiskohtaisia ja teknisesti tarkkoja ohjelmia. Koska nykyisillä malleilla pyritään kuvaamaan hyvin tarkasti tosielämää, vaativat ne myös käyttäjältä hyvin paljon ymmärrystä. Ohjelmien monimutkaisuutta voidaan vähentää rajoittamalla syötettävien tietojen määrää ja antamalla oletusarvoja. Ongelmana ohjelmien osalta on myös se, että ihmiset käyttävät hyvin erilaista kieltä. Toiselle tuttu termi voi olla toiselle hyvin vieras, josta syntyy erilaisia ristiriitoja. (Ellis & Mathews 2002, s.647)

Tietomallit kuvataan rakennusten koko elinkaaren aikaiseksi prosessiksi, mutta sitä ne eivät todellisuudessa ole. Haastattelujen perusteella kävi ilmi, että tietomallintamista ei juurikaan käytetä hankesuunnitteluvaiheessa, eikä käytössä ja ylläpidossa, vaan se keskittyy lähinnä suunnitteluvaiheeseen. Tietomallintamisen ongelmana tällä hetkellä on se, että vain suunniteltuja rakennuksia ja niiden järjestelmiä voidaan hinnoitella ja arvioida. Tämä tarkoittaa sitä, että tilaaja pääsee tuotteen eli rakennuksen hintaan käsiksi vasta siten, kun rakennuksen suunnitteluun on käytetty jo suuri määrä aikaa.

3 Tietomallintaminen ennen suunnittelua

Työssä täydennettävään TAKU[®]-tietomalliin liittyy keskeisesti asiakkaan päätöksentekoprosessi sekä strateginen toimitilasuunnittelu. Asiakkaan päätöksentekoprosessissa pyritään kuvaamaan sitä, miten rakennushankkeisiin ryhtyvä tekee valintansa ja mitä asioita päätöksentekoon vaikuttaa. Tämän lisäksi tietomallintamiseen liittyy kiinteästi myös strateginen toimitilasuunnittelu, joka pitää sisällään toimitilasuunnittelun ja tavoitehintamenettelyn. Strategisen toimitilasuunnittelun avulla pyritään antamaan rakennushankkeeseen ryhtyvälle riittävä arviointikeino päätöksenteon tueksi. Tällä hetkellä rakennushankkeiden investointipäätökset tehdään pääosin valmiiden suunnitelmien pohjalta. Tätä ennen kuitenkin suuri määrä tietoa pitäisi pystyä mallintamaan, jotta hankkeen rajat voitaisiin asettaa selkeämmin jo varhaisessa vaiheessa. Tämän hetken menettelyssä suunnittelija käytännössä määrittelee hankkeen kustannukset. Todellisuudessa asiakkaan pitäisi pystyä vaikuttamaan tähän enemmän, koska hän hankkeen kustannukset lopulta maksaa. Asiakkaat eivät todellisuudessa halua ostaa tuotetta ilman, että tietävät tuotteen tarkan hinnan. Tuotteen ”tarkan hinnan” aikaista määrittelyä on teollisuudessa lähestytty tavoitehintamenettelyllä. Tässä menettelyssä tuotteen hinta määritellään asiakkaan kannalta merkityksellisten ominaisuuksia mukaan. Kun tuotteen hinta on kiinnitetty lopullisesti, ohjaus kohdistuu hinnan asemasta suunnitelman kehittämiseen asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Tavoitehintamenettely otettiin käyttöön 1960-luvulla Toyotan autoteollisuudessa ja se on levinnyt laajalti teollisuuteen. Tavoitehintamenettelyä käsitellään myöhemmin kohdassa ”3.2.2 Tavoitehintamenettely”. (Pennanen & Ballard 2008, s.2, Tanaka 1989, Tanaka 1993)

Tällä hetkellä tietomallintamista ei juurikaan käytetä LVI-alalla ennen varsinaista suunnitteluvaihetta. Tästä syystä aiheesta on hyvin vähän olemassa olevaa kirjallisuutta. Aiheen kirjallisuus perustuu pääosin Ari Pennasen väitöskirjaan ”Workplace planning”, Yrjänä Haahtelan lisensiaattityöhön ”Talonrakennushankkeiden normaalihintamenettely” sekä muutamiiin tieteellisiin artikkeleihin (Haahtela 1980, Pennanen 2004).

3.1 Asiakkaan päätöksentekoprosessi

Rakennushankkeen käynnistää aina asiakas, jolla on jokin muutoksen tarve. Rakennushankkeen asiakas voi olla rakennuksen omistaja, käyttäjä tai hankkeen rahoittaja. Usein asiakkaana on yritys, mutta asiakasta voi edustaa myös yksittäinen henkilö tai ryhmä. Asiakas määrittelee tyypillisissä hankkeissa toiminnalliset, tekniset ja laadulliset vaatimukset sekä tavoitteet, ja määrittelee hankkeen laajuuden sekä kiireellisyyden. Jotta yritykset voivat menestyä rakennustuotannossa, on niiden ymmärrettävä asiakkaita ja hyödynnettävä asiakkailta saatavaa tietoa liiketoiminnassaan. Liike-elämä on kokenut merkittävän ajattelutavan muutoksen ja asioita pyritään miettimään yhä enemmän tarjottavan palvelun ja asiakkaan näkökulmasta. (Artto, Martinsuo & Kujala 2006, s.44-45, Kankainen & Junnonen 2001, s.12, Korhonen, Valjakka & Apilo 2011, s.7)

Ahmed ja Kangari (1995) määrittelevät asiakkaaksi tahon, joka maksaa lopulliset laskut. Toimivan asiakas-tuottaja-prosessin edellytyksiä ovat aito vuorovaikutus ja pyrkimys tuottaa kummallekin osapuolelle hyötyä. Asiakaslähtöisyydessä luovutaan vastakkainasettelusta ja pyritään etsimään yhteistä hyötyä. Asiakkaan sijoitushalun herättäminen perustuu siihen, että asiakkaan tarpeet ymmärretään ja osataan muuntaa ne valmiin tuotteen muotoon. Asiakkaita voidaan yleisesti pitää tyytyväisinä silloin, kun lopullinen tuote tai palvelu vastaa heidän odotuksiaan. Jos edellä mainitut asiat eivät ole kunnossa, hanketta

tuskin syntyy. (Ahmed & Kangari 1995, s.36, Korhonen, Valjakka & Apilo 2011, s.11, Storbacka, Sivula & Kaario 2000, s.20)

Asiakkaan tarpeet ovat vaatimuksia tuotteen eli tässä tapauksessa rakennuksen toimintoille. Hankkeen tavoitteen asettaminen on usein vaikeaa, koska päätöksentekijä ei ole tietoinen päätöstensä seurauksista, kuten kustannuksista. Yleensä hankkeen tavoitteet kuvataan: asiakkaan toimintaympäristönä, kustannuksina sekä aikatauluna. Näiden lisäksi hankkeelle saatetaan asettaa muita vaatimuksia, kuten muuntojoustavuus ja ulkonäkö. Asiakkaan vaatimukset puretaan tuoteominaisuuksiksi, joilla esimerkiksi LVI-järjestelmissä voidaan tarkoittaa ilman lämpötilaa tai tuloilmavirtaa. Ominaisuudet voivat olla ristiriidassa toisiinsa nähden, koska asiakas ei välttämättä ymmärrä, mitä hänen asettamistaan vaatimuksista käytännössä seuraa. Tiloilta ja niiden toiminnoilta voidaan haluta laadukkaita ominaisuuksia, mutta ei oltaisi valmiita maksamaan niistä, jos ominaisuuksien hinta tiedettäisiin päätöksentekohetkellä. Asiakkaat voivat mahdollisesti haluta asioita, jotka voitaisiin laskelmalla osoittaa heidän liiketoimintansa kannalta kannattamattomaksi. Asiakkaan arvo perustuu lopullisen tuotteen kustannuksiin ja tuotteesta saataviin etuihin ja hyötyihin. Arvo mitataan liiketoimintamarkkinoilla rahassa tuotteen teknisten, taloudellisten, palveluominaisuuksien sekä sosiaalietuuksien kautta siten, että asiakkaan kokeman arvon pitää olla rahallista arvoa korkeampi. (Anderson & Narus 1998, s.6, Haahtela & Kiiras 2013, s.27, Lakka, Laurikka & Vainio 1995, s.15,18-19)

Rakennushankkeen päätarkoituksena on tyydyttää tilan käyttäjän tarpeet, tuottaa asiakkaalle lisäarvoa ja tukea heidän toimintaansa parhaalla mahdollisella tavalla. Tilan käyttäjän tarve rakennushankkeen käynnistämiseksi syntyy usein tilantarpeen muutoksista. Tilojen käyttäjän liiketoiminta saattaa muuttua niin, että tilantarve kasvaa, vähenee tai mahdollisesti tarvitaan erilaisia tiloja. Omistajan näkökulmasta tarve voi syntyä siitä, että liiketoiminta muuttuu, kiinteistöä pitää muuten kehittää tai korjata. Tarve voi syntyä myös käyttäjän ja omistajan yhteisistä tarpeista. Yksityishenkilöiden tilantarvemutokset aiheutuvat usein perhekoon, asuinpaikan tai varallisuuden muutoksista. Yhteisöille tärkeää on yhteiskunnallisten velvoitteiden täyttyminen tilojen kautta. Yritysten tilantarpeisiin vaikuttavat taloudelliset toimintaedellytykset sekä muutokset liiketoiminnassa. Yritysassiakkaat ostavat tuotteen pääsääntöisesti siksi, että heille on pystytty osoittamaan tuotteen taloudellinen arvo kustannusten jälkeen positiiviseksi. Kuten edellä on kuvattu, kullakin käyttäjäryhmällä on tiloilta omat tarpeensa ja vaatimuksensa. Useiden vaihtoehtojen kohdalla suurimman arvon omaava tuote valitaan. Arvon ja ostamisen suhde ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen, sillä monissa tilanteissa ei pystytä laskelmilla toteamaan sitä, minkä vuoksi kyseinen tuote on ostettu. Hankkeen käynnistäminen on yrityksille aina strateginen investointipäätös, jonka vuoksi sillä onkin samalla pyrittävä tukemaan yrityksen strategiaa. (Haahtela & Kiiras 2013, s.27, Kankainen & Junnonen 2001, s.9, Korhonen, Valjakka & Apilo 2011, s.17, Kujala 1999, s.9)

Yritykset nähdään usein rationaalisina päätöksentekijöinä. Kaupan ajatellaan syntyvän, mikäli tuottaja pystyy osoittamaan hyödyt. Todellisuudessa asiakkaat arvostavat erilaisia asioita, jonka vuoksi hyvin perusteltu hankekin saatetaan hylätä, vaikka edellytyksen siihen voisivat olla hyvät. Päätöksentekoprosessi on dynaaminen prosessi, joka sisältää monimutkaista tiedon etsintää, kiertoteitä, palautteen antoa ja saamista, tiedon keräämistä ja karsimista, epävarmuutta sekä ristiriitoja. Päätöksentekoon liittyy myös monia haittoja, kuten riskejä ja epävarmuutta, jotka saattavat osaltaan vaikuttaa asiakkaan päätöksentekoon. Lopullinen päätös saadaan aikaan oppimalla, ymmärtämällä, informaatiota käsittelemällä, arvioimalla sekä määrittelemällä ongelmaa ja sen toimintaympäristöä. (Korhonen, Valjakka & Apilo 2011, s.14, Zeleny 1982, s.86)

Organisaatiot koostuvat johtajista, jotka tekevät päätöksiä sekä rationaalisten että intuitiivisten prosessien avulla. Rakennusprojektien erilainen päätöksenteko on lähes poikkeuksetta ryhmätoimintaa, koska asiakkaana on usein yritys. Tällaisessa organisaatioiden päätöksenteossa on tunnusomaista se, että asioihin erikoistutaan. Osa organisaation henkilöstöstä keskittyy taloudelliseen puoleen ja toiset teknisiin asioihin. Tästä syystä kullakin ryhmällä on oma tietämysalansa ja he pyrkivät tekemään päätöksiä parhaimmin tuntemastaan aihealueesta. Ryhmässä toimiminen ei edellytä pelkästään oikeita päätöksiä, vaan myös sitä, että koko ryhmä toimii päätösten vaatimalla tavalla sekä yhteistyössä. Zelenyn (1982) mukaan päätöksentekoprosessi perustuu palautteeseen. Hänen mukaansa päätöksentekoon on olemassa kaksi perusnäkökulmaa: lopputulos- ja prosessorientoitunut näkökulma. Lopputulosorientoituneesta näkökulmasta puhutaan, jos jollain asialla pystytään edustamaan lopputulosta. Tällöin on myös ymmärrettävä koko päätöksentekoprosessi. Päätöksen lopputulos ja ennuste ovat keskeisiä tässä näkökulmassa. Prosessorientoituneesta näkökulmasta voidaan puhua, jos ymmärretään päätöksentekoprosessi. Tämän näkökulman avulla voidaan lopputulos ennustaa ja oppia, miten päätöksiä kuuluu tehdä. (Daft 2004, s.455, Simon & Rajala 1979, s.45-46,51-52, Zeleny 1982, s.85)

Päätöksentekoprosessi on Daftin (2004) mukaan määritelty ongelmien tunnistamiseksi ja ongelmien ratkaisuksi. Ongelman tunnistamisvaiheessa tietoa ympäristöstä ja organisaation tilasta käsitellään sekä arvioidaan toiminnan riittävyyttä ja vajavuutta. Ongelman ratkaisuvaiheessa vaihtoehtoiset toimintatavat arvioidaan, jonka jälkeen yksi vaihtoehto valitaan ja toteutetaan. Rationaalisen päätöksenteon prosessi etenee kuvan 3 osoittamalla tavalla. (Daft 2004, s.446,449)



Kuva 3. Rationaalisen päätöksenteon vaiheet (Daft 2004, s.449).

Päätöksenteossa tulee ottaa huomioon se, että käytännössä jokainen tehty päätös on kompromissi. Rakennuksien kohdalla tämä tarkoittaa sitä, että tehdään kompromissi vaatimusten, kuten laatutason, hinnan tai sijainnin suhteen. Valittu vaihtoehto ei yleensä täytä kaikkia vaatimuksia täydellisesti, jonka vuoksi se onkin yleensä paras käytettävissä oleva vaihtoehto. Monissa päätöksentekoprosesseissa käy ilmi, että kuvassa 3 esitettyä ideaalista päätöksentekoprosessia ei voida noudattaa. Todellisuudessa päätökset joudutaan tekemään usein kovassa kiireessä, paineen alla, suuren ja mahdollisesti puutteellisen tietomäärän avulla. Pahimmassa tapauksessa saatetaan joutua valitsemaan ensimmäinen vaihtoehto, joka ongelman ratkaisee. Muita vaihtoehtoja ei mahdollisesti kiireen vuoksi ehditä arvioida. (Daft 2004, s.451, Simon & Rajala 1979, s.49)

Suuri osa ihmisten käyttäytymisestä erilaisissa organisaatioissa perustuu päämääriin ja tavoitteisiin. Detaljipäätökset ovat välttämättömiä ja niillä pyritään ohjaamaan toimenpiteitä, joiden avulla päästään suurempaan tarkoitukseen. Rakentamisprosessissa detaljipäätökset voivat olla esimerkiksi laatutasovaatimuksia, joiden mukaan suunnitelmat laaditaan. Näiden laatutasovaatimusten avulla pyritään pääsemään asiakasta tyydyttävään tekniseen ratkaisuun. Kysymyksiä erilaisten päätösten kohdalla on lukuisia ja jokaiseen niistä pitää löytää vastaus, jotta päätöksiä osataan tehdä. Lopullinen päätös tehdään eri tavoitteiden painoarvoista sekä arviosta, miten hyvin erilaiset ratkaisut täyttävät asetetut vaatimukset. Useinkaan lopullisilla päätöksillä ei pyritä tyydyttämään pelkästään taloudellisia tavoitteita, vaan se on lähinnä keino muiden tarpeiden täyttämiseen. (Simon & Rajala 1979, s.48,50)

3.2 Strateginen toimitilasuunnittelu

Monimutkaisten rakentamispäätösten tueksi on kehitetty strateginen toimitilasuunnittelu. Strategisen toimitilasuunnittelu on prosessi, jonka tarkoituksena on helpottaa asiakasta tiedostamaan organisaation tavoitteet ja käytettävissä olevat resurssit. Strateginen toimitilasuunnittelu yhdistää kahta eri menetelmää: toimitilasuunnittelua ja tavoitehintamenetelyä. Prosessilla pyritään sitouttamaan asiakas päätöksiin ja lopullisiin tuloksiin. Strategisella toimitilasuunnittelulla on pystytty vähentämään rakennuskustannuksia noin 15 - 20 % ilman, että asiakas on joutunut luopumaan hänelle tärkeistä toiminnoista. Kyseisen näkökulman pääperiaate on se, että asiakkaalle luodaan lisäarvoa. Arvon muodostuminen asiakkaiden päätöksentekoprosessissa on monimutkainen prosessi etenkin siksi, että lopullista tulosta emme voi etukäteen ennustaa. Jokainen asiakas on yksilöllinen ja niin ovat myös heidän arvonsa ja ajatuksensa. (Pennanen 2006, s.3976-3977,3979)

3.2.1 Toimitilasuunnittelu

Rakentamisprosessissa tyydyttävään lopputulokseen voidaan päästä monella tavalla, koska hyväksyttäviä ratkaisuja on valtava joukko. Nykyään yritysten toiminta näkyy ostamisena, vuokraamisena, rakentamisena ja kunnostamisena, joilla pyritään vastaamaan paremmin yritysten tarpeisiin. Sopivan toteutustavan arvioimiseen on usein käytössä vain tieto asiakkaan liiketoiminnan strategiasta ja ympäristöstä, jossa toimitaan. Menettely on monimutkainen, koska on olemassa paljon hyviä ja huonoja ratkaisuja. Asiakasta tyydyttävän ratkaisun löytämiseksi on arvioitava asiakkaan arvoja ja rinnastettava ne yleisesti koettuihin arvoihin. Tällaiset prosessit vaativat valtavan määrän päätöksiä, jonka vuoksi myös päätösten tueksi tarvitaan erilaisia menetelmiä. Päätöksiin ei nykypäivänä voida soveltaa erilaisia normeja, kuten ennen, sillä tarpeet ovat jokaisessa hankkeessa hyvin erilaisia. Tarpeiden monimuotoisuuteen vaikuttavat kulttuuriset taustat, itsenäisyys ja halu erottua joukosta. Tällaisia tarpeita ei ennen ollut, vaan ratkaisut pystyttiin arvioimaan erilaisten standardien ja normien pohjalta. Nykypäivän monimutkaisissa hankkeissa asiakas määrittelee itse, mitä hän kokee tarvitsevänsä. Sen vuoksi myös hankkeita on huomattavasti vaikeampi hallita. Palautteenanto on tärkeä osa rakentamisprosessin toimintaa ja sen on monimutkaisissa prosesseissa oltava nopeaa. Tällä hetkellä rakentamisprosessien palaute on aivan liian hidasta, koska päätöksiä tehdään vielä hankkeen myöhäisissäkin vaiheissa. Nykypäivän rakennusprojekti etenee siten, että alussa annetaan lähtötiedot suunnittelulle, suunnitellaan ja lasketaan kohde. Laskentavaiheessa havaitaan, että kustannukset ovat liian korkeita, jonka jälkeen suunnitelmia muutetaan. Tämän jälkeen uusien suunnitelmien pohjalta kustannuksia arvioidaan jälleen ja samalla hukataan kallisarvoista aikaa. Kun tällaista päätöksenteon vaihetta toistetaan, seuraa siitä väistämättä kiire hankkeen loppupäähän, koska rakennuksen valmistumispäivämäärää ei haluta

siirtää. Päästäessä rakentamisvaiheeseen saatetaan huomata, että rakennus ei vastaakaan nykyistä tarvetta, koska tarpeet ovat muuttuneet suunnitteluprosessin aikana. (Pennanen 2004, s.26, Pennanen 2006, s.3977-3978, Pennanen, Ballard & Haahtela 2010, s.162-163)

Toimitilasuunnittelussa asiakas ei määrittele tiloja, vaan toimintoja, jotka tukevat hänen liiketoimintaansa. Toimitilasuunnittelussa käyttäjän strategisen ja toiminnallisen tiedon avulla määritetään tarvittavat tilaohjelmat, tilojen koot ja tiloihin tarvittavat järjestelmät. Käytännössä siis asiakas määrittelee, minkälaiset olosuhteet hän tiloihinsa haluaa, joiden pohjalta todellinen tarve määritellään. Asiakas voi haluta vaativan sisäilmaolosuhteen tai mahdollisesti vain rakentamismääräykset toteuttavan sisäilmaolosuhteen. Valinta tehdään sillä perusteella, minkä asiakas kokee liiketoiminnalleen kannattavimmaksi. Asiakas voi haluta uima-allasjärjestelmän tiloihinsa, mutta uima-altaan käyttöajat eivät tue hankintaa. Tällöin asiakasta pyritään ohjaamaan liiketoiminnalleen kannattavampaan suuntaan esimerkiksi vuokraamaan uintiaikaan muualta. Tarkoituksena on tehdä asiakkaan liiketoimintaa tukevia ratkaisuja. Strategisen toimitilasuunnittelun näkökulma on täysin erilainen kuin perinteisissä järjestelmissä. Ennen asiakas määritteli minkä kokoisia tiloja hän halusi ja minkälaiset järjestelmät. Nyt asiakas kuvailee liiketoimintansa ja tarpeensa, jonka perusteella arvioidaan asiakkaan todellinen tilojen ja järjestelmien tarve. Asiakkaat eivät aina itse tiedä tarpeitaan, jonka vuoksi on tärkeää pystyä ohjaamaan heitä tällaisessa päätöksenteossa. Toimitilasuunnittelussa luodaan rakentamiselle selkeä päämäärä, tavoite. (Pennanen 2004, s.22,67)

Toimitilasuunnittelu on enemmän visuaalinen kehä kuin kronologinen järjestys. Vaikka sitä käytetään usein projektin alkuvaiheessa, voidaan sitä käyttää aina, kun sitoutumista tarvitaan. Tilanne projekteissa on usein se, että asiakas muuttaa päämäärää useampaan kertaan. Asiakkaalla on tähän täysi oikeus, mutta tällöin päämäärä ja tavoitteet on asetettava uudelleen, jotta asiakasta tyydyttävään lopputulokseen päästään. Toimitilasuunnittelussa painotetaan sitä, että tiloilla ja niiden ominaisuuksilla tulee olla käyttöä liiketoiminnan kannalta. Yrityksen etu prosessissa on se, että toiminnot tuovat lisäarvoa yritykselle ja sen strategialle. Toimitilasuunnittelun tavoitteena on luoda tuote, jolla vastataan organisaation tarpeisiin ja toimintoihin. Toimitilasuunnittelussa tuodaan investoinnit ja arvон muodostaminen samalle viivalle muiden muuttujien kanssa. Niiden avulla asiakkaan arvoja peilataan yrityksen strategiaan, jonka perusteella arvioidaan tilat ja tilojen ominaisuudet. Investointeja, jotka eivät tue yrityksen strategiaa, pyritään välttämään. (Pennanen 2004, s.28,42,44,59,61)

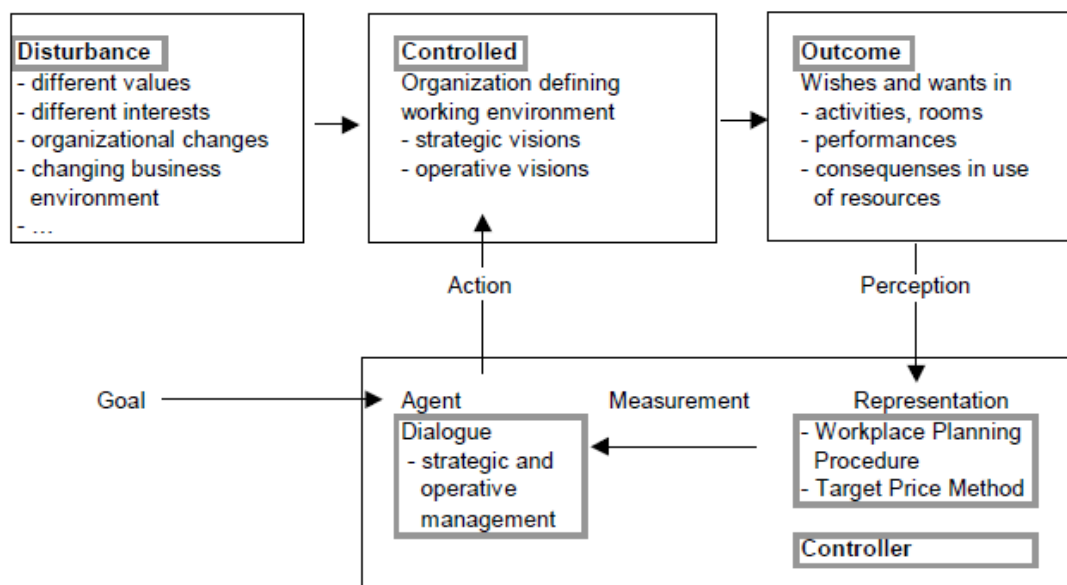
Toimitilasuunnittelun ympäristö on luonteeltaan monimutkainen ja itsesäätävä, koska se toimii sosiaalisessa ympäristössä. Induktiivisen luonteensa vuoksi toimitilasuunnitteluun on monia ratkaisuja. Induktiivisten ongelmien kohdalla ei ole oikeaa ja väärää vastausta, vaan riittävän hyviä ja huonoja ratkaisuja. Induktiivisten ongelmien lopputulosta ei voida ennustaa käytännössä, mutta lopputulos voidaan ymmärtää ja arvioida historia-tietojen avulla. Toimitilasuunnittelu ei tähtää absoluuttisen oikeaan ratkaisuun, koska sel-laista ei monimutkaisissa systeemeissä ole. Sen sijaan se pyrkii löytämään ”hyvän” ratkaisun, jolla pystytään vastaamaan mahdollisimman moneen tarpeeseen. Toimitilasuunnittelumalli mukailee oikeita päätöksiä, mutta ei anna absoluuttista totuutta. (Pennanen 2004, s.20,23-25,34,48)

Toimitilasuunnittelu koostuu seuraavista vaiheista (Pennanen 2004, s.40)

- informaation keruu
- haastattelut
- toimintojen määrittely
- tilojen ja toimintojen mallintaminen
- hinta-arvio.

Toimitilasuunnittelun ohjausmallin tehtäviä ovat (Pennanen 2004, s.39)

- operatiivisen ja strategisen johdon päätöksentekoprosessin tukeminen ja innostaminen
- päätöksenteon keskittäminen oikeille tasoille
- tiedonkäsittelyn läpinäkyvyys
- yhdenvertainen tiedonkäsittely.



Kuva 4. Toimitilasuunnittelun ohjausmalli (Pennanen 2004, s.63).

Kuvassa 4 on esitetty toimitilasuunnittelun ohjausmalli. Toimitilasuunnittelun alkuvaiheessa ei tiedetä lopputulosta. Lähtötietona on suuri määrä asiakkaan toiveita ja vaatimuksia, jotka ovat monesti ristiriidassa toisiinsa nähden. Näiden lisäksi on tiedettävä organisaation toiminta-alue ja organisaatioon haluttava muutos. Ohjattavana systeeminä toimitilasuunnittelussa on organisaation määrittelemä toimitilaympäristö. Toimitilaympäristön määrittelyyn tarvitaan strategisia ja operatiivisia näkökulmia, jotta tavoitteet voidaan täyttää. Lopputuloksena saadaan toimitilaympäristö, jossa on asiakkaan hyväksymät ominaisuudet. Lopputulokseen vaikuttavat erilaiset toivomukset tiloilta ja niiden ominaisuuksilta, kustannukset sekä aika. Näiden pohjalta asiakas tekee investointipäätöksensä. Kyseistä menettelyä jatketaan niin kauan, kunnes asiakas on tyytyväinen ratkaisuun. Prosessi ei aina etene suoraviivaisesti lopputulokseen, vaan prosessia joudutaan ohjaamaan. Asiakas saattaa muuttaa mielipidettään tai lopputulos ei kustannuksiltaan tai muilta ominaisuuksiltaan tyydytä asiakasta. Ohjaimina ja palautetiedon tuottajina prosessissa toimivat toimitilasuunnittelumalli ja tavoitehintamenettely. Palautteen täytyy olla hyvin nopeaa ja mallien tulee tuottaa informaatiota ehdotetun päätöksen yhteydessä. (Pennanen 2004, s.33-34,51,55,63,66)

Rakennushankkeet ovat usein monimutkaisia ja niiden monimutkaisuutta voidaan vähentää, mikäli toimitilasuunnittelu ja toteutussuunnittelu erotetaan toisistaan. Toimitilasuunnittelussa ja toteutussuunnittelussa on monia samankaltaisuuksia. Molemmat perustuvat annettuihin lähtötietoihin ja niiden onnistuminen voidaan mitata suhteessa lähtötietoihin. Lähtötiedoille voi myös molemmissa tapauksissa olla lukemattomia erilaisia ratkaisuja. (Pennanen 2004, s.42,44)



Kuva 5. Toimitilasuunnittelun ja toteutussuunnittelun eroja (Pennanen 2004, s.44).

Kuvassa 5 on esitetty toimitilasuunnittelun ja toteutussuunnittelun eroavaisuuksia. Toimitilasuunnittelussa otetaan asiakkaan tarpeet ja arvot huomioon sekä pyritään löytämään oikea konsepti tarpeiden täyttämiseen. Toimitilasuunnittelussa käytetään asiakkaan strategiaa, toimintoja ja resursseja hyväksi lopputuloksen määrittelyyn. Tällä menetelmällä pyritään selvittämään, mikä asiakkaalle on tärkeää, kuinka paljon varoja muutokseen tarvitaan ja onko asiakas valmis maksamaan muutoksista esitetyn summan. Toimitilasuunnittelun tietomallissa simuloidaan suunnittelua, mutta ei pyritä tekemään itse suunnitelmaa. Toimitilasuunnitelman avulla voidaan arvioida hankesuunnitteluvaiheessa kustannuksia ja tarpeita. Toteutussuunnittelussa taas pyritään tuottamaan toimitilasuunnitelman täyttävä toteutuskelpoinen ratkaisu. Toteutussuunnittelussa pyritään vastaamaan tarkemmin suunnitteluratkaisuihin ja toteutustapoihin. (Pennanen 2004, s.62)

3.2.2 Tavoitehintamenettely

Tavoitehintamenettely on ollut käytössä Japanin autoteollisuudessa jo 1960-luvulta lähtien. Menettelyn keksi japanilainen autoalan yritys Toyota, joka käytti menettelyä motiivintekijänä pitkän tähtäimen suunnitelmien toteuttamiseen. Tällöin menetelmää käytettiin kustannusten vähentämiseen jatkuvan oppimisen kautta. Verrattuna autoteollisuuteen, rakennukset ovat hyvin uniikkeja tuotteita, mikä on aiheuttanut vaikeuksia tavoitehintamenettelyn käyttöönotolle. Tästä syystä tavoitehintamenettelyä ei ole kansainvälisesti käytetty rakennusalaalla. 1980-luvulla havaittiin, että rakennusten kustannuksia ei saada hallintaan ja kustannusten hajonta on varsin suurta. Hajontaa aiheuttivat mm. suunnitteluratkaisut ja toiminnalliset vaatimukset. Yrjänä Haahtela kehitti kustannushallintateoriaa rakennuskustannusten hallintaan, jotta tähän ongelmaan saataisiin ratkaisu. Kehitystyön seurauksena Haahtelan tavoitehintamenettely otettiin käyttöön Suomessa 1980-luvulla. Yhdysvalloissa ensimmäinen onnistunut rakennuksen tavoitehintamenettely saatiin tuotettua vuonna 2002. TAKU[®]-tietomalli, joka käyttää hyväksi tavoitehintamenette-

lyä, on ollut käytössä Suomessa jo yli kymmenen vuotta ja sitä on käytetty laajasti projektinhallinnan työkaluna. (Ballard 2011, s.1, Feil, Yook & Kim 2004, s.1, Haahtela 1980, Pennanen, Haahtela & Väänänen 2005, s.2,7, Pennanen & Ballard 2008, s.6)

Ballard (2007) määrittelee tavoitehintamenettelyn rakennustuotannossa tavaksi rajoittaa suunnittelua ja rakentamista tiloille asetettavien maksimaalisten kustannusten avulla. Menettelyn avulla toimintoja hallitaan tavoitteen tai markkinapohjaisten sallittujen kustannusten avulla, jotka pitää realisoida, jotta yrityksestä tulee kannattava. Jotta tavoitehintamenettelystä tulee toimiva, pitää toimia ja valmistaa tuotetta tavoitehinnan mukaan. Gagnen ja Discenzan (1995) mukaan tavoitehintamenettelyn avulla markkinointi- ja suunnittelutoiminnot samaistetaan tuotteelta haluttaviin ominaisuuksiin ja sen oletettuun myyntihintaan. (Ballard 2007, s.1, Gagne & Discenza 1995, s.16)

Perinteisissä hankkeissa kustannukset ovat määräytyneet suunnitelmien mukaan eli käytännössä suunnittelija on määrännyt hankkeen kustannukset. Perinteinen hinnoittelu perustuu standardituotteista annettuihin hintoihin, kun taas tavoitehinnoittelu on dynaaminen ja perustuu jatkuvaan kehitykseen. Nykyisen kustannusten hallinnan tulee tukea tuotantoa ja vastata asiakkaiden tarpeita paremmin, vähentämällä kustannuksia ja tarpeettomia resursseja. Perinteistä hinnoittelua on ajan myötä muokattu mm. automatisoimalla ja standardoimalla tuotteita. Tällä on pyritty muuttamaan menetelmää tämän hetkiseen moderniin ympäristöön sopivaksi. Tavoitehintamenettelyn periaate on päinvastainen perinteiseen verrattuna. Hankkeen hinta määritellään jo ennen suunnittelua ja se määräytyy pitkälti asiakkaan vaatimusten ja tarpeiden mukaisesti. Tavoitehintamenettely keskittyy erityisesti hankkeen määrittelyyn sekä suunnitteluun ja sen ohjaukseen. Tavoitehinnoittelun periaatteellisena erona perinteiseen hinnoitteluun nähden voidaan pitää sitä, että asiakas käyttää enemmän aikaa projektin määrittelyyn kuin normaalisti. Tämän lisäksi yhteistyötä eri osallistujien välillä korostetaan normaalia enemmän. Suunnitteluvaihe on elintärkeä, koska sen aikana lähes koko hankkeen kustannukset sidotaan. Tämän seikan vuoksi, tavoitehintaan pääsy on mahdotonta, jos suunnitteluratkaisun hintaa ei voida arvioida ja suunnittelua ohjata. (Ballard 2007, s.6, Gagne & Discenza 1995, s.16,21, Pennanen, Ballard & Haahtela 2010, s.161)

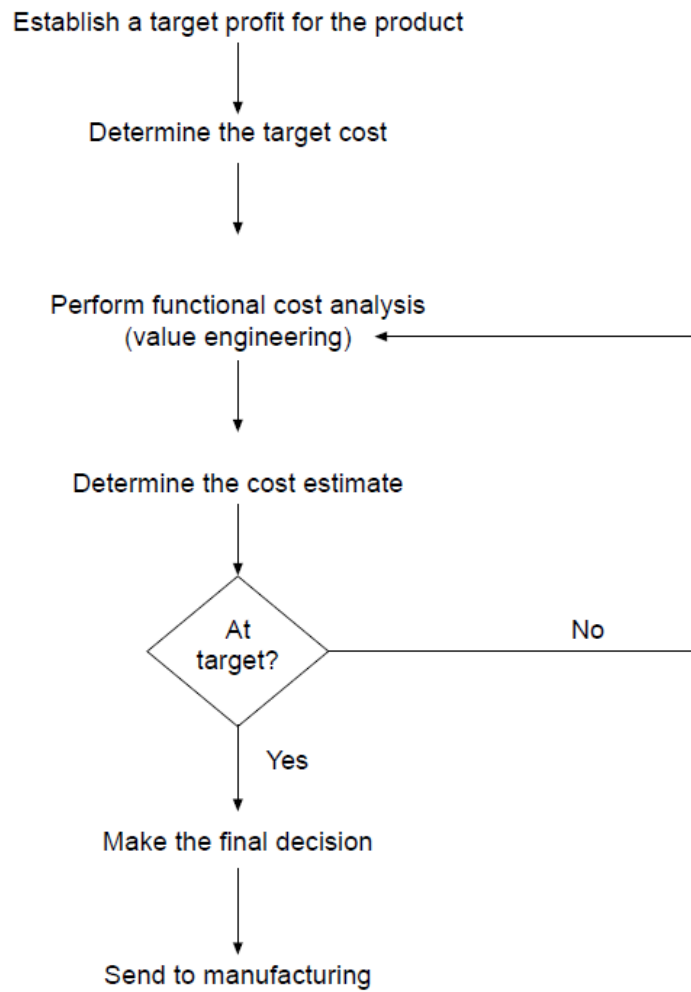
Tavoitehintamenettelyssä kustannukset arvioidaan suoraan asiakkaan vaatimuksista jo ennen suunnitteluvaihetta, ei suunnitelmiin perustuen, kuten perinteisessä menettelyssä. Tavoitehinnoittelu perustuu ennen suunnittelua asiakkaalta saataviin tietoihin, kuten tuotteelta vaadittaviin ominaisuuksiin, hyväksyttävään markkinahintaan, asiakkaan haluun ja kykyyn maksaa tuotteesta. Tavoitehinnoittelussa on tärkeää, että ennalta asetettuun kustannustavoitteeseen päästään. Tästä syystä kustannusten hallinta pyritään keskittämään suunnitteluvaiheeseen, jossa kustannuksiin voidaan vaikuttaa laajimmin. Tavoitehinnoittelun kronologinen järjestys on päinvastainen perinteiseen hinnoitteluun nähden. Suunnitelman pitää pystyä tuottamaan ratkaisu, jolla täytetään ennalta määritellyn tavoitehinnan ja tuotteen toiminnan sekä laadun vaatimukset. Tästä johtuen tavoitehinnoitteluun kuuluu ennakoiva kustannusten suunnittelu budjetoinnin ja suunnittelun aikana. Tavoitehinnoittelussa pyritään hallitsemaan kustannuksia siten, että asiakas pääsee vaikuttamaan niihin enemmän. Yleisesti elinkaarikustannuksista 80 – 90 % määritetään suunnitteluvaiheessa, jonka vuoksi asiakkaalla pitäisi olla suurempi vaikutusmahdollisuus niihin. (Pennanen & Ballard 2008, s.2, Pennanen, Haahtela & Väänänen 2005, s.2-3, Tanaka 1989, Tanaka 1993)

Tavoitehintamenettelyn avulla hanke kuvataan tilaajalle sekä käyttäjälle tiloina ja niiltä haluttavina ominaisuuksina. Tavoitehinnoittelun tarkoituksena ei ole olla alustava kustannusarvio, vaan lopullinen hinta, jolla asiakas sitoutuu tuotteen ostamaan. Koska suunnitteluratkaisuissa on suuri hintahajonta, edellyttää tavoitehintamenettely jatkuvaa suunnittelun ohjausta. Tavoitehintamenettely on matemaattinen malli, jolla luodaan linkki tilojen ominaisuuksien ja tarvittavien resurssien välille. Asiakas tietää usein, mitä ominaisuuksia tiloilta haluaa, mutta ei välttämättä ymmärrä, mitä järjestelmiä niiden toteuttamiseen tarvitaan. Tavoitehintamenettelyssä ominaisuudet muutetaan järjestelmien avulla hinnoiksi, joiden perusteella asiakas voi arvioida hankkeen laajuutta ja resurssejaan. Menettely mahdollistaa hinnan arvioinnin ja vaihtoehtojen taloudellisen vertailun ilman, että käynnistetään pitkää suunnittelu- ja laskentaprosessia. Tavoitehintamenettely ja toimitilasuunnittelu yhdistämällä saadaan aikaiseksi päätöksentekoa tukeva palautteenantomenettely. Päätöksentekoprosessin lopussa saadaan tieto käyttäjille, johdolle ja suunnittelijoille tarvittavista toiminnoista, tiloista ja niiden ominaisuuksista. Rakennusosa-arviolla kuvataan rakennus suunnittelijoille rakennusosina ja rakennuksen järjestelminä, jotta niihin voidaan suunnittelunohjauksen aikana palata. (Haahtela & Kiiras 2013, s.28, Pennanen 2004, s.22,67)

Monet yritykset ovat käyttäneet tavoitehintamenettelyä, mutta eniten tavoitehintamenettelystä hyötyvät sellaiset yritykset, jotka ovat asennuspainotteisilla aloilla, hajauttavat tuotantolinjojaan, käyttävät teknologiaa hyväksi ja pyrkivät vähentämään kustannuksia suunnittelun ja tuotannon aikana. Tavoitehintamenettelyn avulla suunnittelu- ja tuotantovaihetta voidaan ohjata kustannustehokkaammin. Tämä on mahdollista, koska suunnittelulle asetetaan tavoitteet, eikä anneta suunnittelijoille täysin vapaita käsiä. Suunnitteluvaiheesta tästä menettelystä saadaan suurempi kustannusvaikutuspotentiaali aikaseksi, koska tällöin voidaan vaikuttaa mm. laitevalintoihin. (Gagne & Discenza 1995, s.21)

Tavoitehintamenettelyssä tarvitaan hyvin paljon ryhmäpainotteista lähestymistapaa, jossa suunnitteluun osallistuvat henkilöt tuovat tietonsa ja kokemuksensa ilmi. Työryhmään osallistuvilla työntekijöillä tulee olla tieto yrityksen toiminnasta lukuina. Tavoitehintamenettelyssä käytetään toimintojen analysointia ja se on usein linkitetty arvoanalysointiin. Toimintojen analysoinnin avulla hallitaan kustannuksia tuotteiden toimintojen avulla. Toimintoja voidaan tuottaa monella tavalla, jonka vuoksi niiden kustannuksetkin vaihtelevat paljon. Toimintojen analysointia käytetään suunnitteluvaiheessa. Tällöin arvioidaan asiakkaan tarvitsemat toiminnot ja vähennetään kustannuksia karsimalla tarpeettomia toimintoja. Vaihtoehtojen arviointi suoritetaan tuotteiden tavoitehintojen vertailun avulla. (Gagne & Discenza 1995, s.18,20)

Tavoitehintamenettelyn toiminta on monivaiheinen. Kuvassa 6 on esitetty tavoitehintamenettelyn toimintakuvaus. Tavoitehintamenettely lähtee siitä, että määritellään tuotteella saavutettava hyöty. Tämän jälkeen määritetään tavoitehinta. Tavoitehinnan määrittelyn jälkeen suoritetaan toimintojen kustannusanalysointi, jota nimitetään myös arvoanalyysiksi. Analyysin jälkeen ratkaistaan hinta-arvio, jonka jälkeen arvioidaan, onko hinta tavoitteiden mukainen. Mikäli hinta ei vastaa tavoitetta, palataan takaisin toimintojen kustannusanalysointiin. Tätä vaihetta jatketaan, kunnes hinta-arvio on tavoitteen mukainen. Tämän jälkeen tehdään lopullinen päätös ja valmistetaan tuote, joka on tässä tapauksessa rakennus tai sen osa.



Kuva 6. Tavoitehintamenettelyn toimintakuvaus (Gagne & Discenza 1995, s.17).

4 Nimikkeistö

4.1 *Nimikkeistön määrittelyjä*

Isoissa yrityksissä käsitellään suuria tietomääriä, jonka vuoksi nimikkeiden hallintaa voidaan pitää yhtenä yritysten tärkeimmistä prosesseista. Useimmille yrityksille tietojen ajantasaisuus, oikeellisuus ja nopea saatavuus ovat tärkeitä tekijöitä, jotta pystytään kilpailemaan tehokkaasti kansainvälisillä markkinoilla. Standardoitujen nimikkeiden avulla saadaan yksinkertaistettua tapahtumien käsittelyä ja niiden hallintaa. Nimikkeistöjen määrittelyyn ja ylläpitoon kuluu resursseja, jonka vuoksi pienien tapahtumien takia niitä ei kannata luoda. Kun nimikkeistöä ei päivitetä, seuraa siitä usein nimikkeiden määrän kasvua, tehottomuutta, turhaa työtä ja virheitä. Peltosen, Martion ja Sulosen (2002) mukaan nimike voi olla mikä tahansa tuotetiedon hallinnan kannalta itsenäinen yksilö, jolla on identiteetti. Tällä perusteella nimikkeistöä voidaan pitää tuotetiedon hallinnan joukkona. Sääksvuori ja Immonen (2002) sen sijaan määrittelevät nimikkeen systemaattiseksi ja standardisoiduksi tavaksi identifioida, koodata ja nimetä fyysinen tuote, tuotteen osa, komponentti, materiaali tai palvelu. Heidän mukaansa nimikkeistön sisältö on riippuvainen jokaisen yrityksen toimintatavasta sekä yrityksen valmistamista tuotteista. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, s.14-15,45, Sääksvuori & Immonen 2002, s.9,13,19)

Jokaisella nimikkeellä pitää olla selkeä ja yksikäsitteinen tunniste, jota voidaan kutsua myös koodiksi. Tyypillisesti nimike koostuu määrämuotoisesta tunnisteesta ja vapaamuotoisesta kuvauksesta. Kuvauksissa pitää käyttää johdonmukaisia ja ymmärrettäviä termejä, jotta nimikkeistöjä osataan käyttää oikein. Nimikkeen tunnisteen voivat olla kahdenlaisia: luokittelevia tai mielivaltaisia. Luokittelevassa tunnisteessa jo pelkkä tunniste kertoo nimikkeen ominaisuuksista ja asemasta. Luokittelevat tunnisteen ovat yleisiä, mutta niissä on omat haittansa. Ongelmia voi aiheutua, mikäli tunnisteessa on tieto nimikkeen ominaisuuksista, koska ne voivat ajan myötä muuttua. Mielivaltainen tunniste voi sen sijaan olla mitä vain, vaikka juokseva numerointi. Mielivaltaiset tunnisteen edellyttävät, että käyttäjät voivat hakea nimikkeitä tietojärjestelmästä esimerkiksi kuvaukseen perustuen. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, s.16-17)

Kun käsitellään suurta tietomäärää, pitää pystyä poimimaan nimikkeitä erilaisin perustein. Tämän vuoksi nimikkeet pitää ryhmitellä eri tavoin. Nimikkeiden ryhmittely voidaan tehdä mielivaltaisesti, attribuuttiperusteisesti tai luokittelemalla. Mielivaltaisessa ryhmittelyssä valitaan mielivaltainen joukko nimikkeitä, jotka muodostavat jonkin selkeän kokonaisuuden. Attribuuttiperusteisessa ryhmittelyssä nimikkeet valitaan tietokantahaulla siten, että nimikkeiden attribuuttien arvot toteuttavat valitut ehdot. Luokittelussa nimikkeitä ryhmitellään etukäteen sovittuihin hierarkkisiin luokkiin. Nimikkeiden käsittelyyn ei ole olemassa yksikäsitteistä tapaa, sillä jokaisella yrityksellä on nimikkeille omat kriteerinsä ja käyttötarkoituksensa. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, s.27-28)

Nimikkeistön pitäisi olla yhtenäinen, joko yrityksen oman tai jonkin laajemman standardin mukainen. Nimikkeistön rakenteen pitää ryhmitellä nimikkeet eri luokkiin ja alaluokkiin, kuhunkin tilanteeseen sopivalla tavalla. Edellä mainittu luokittelu helpottaa nimikkeistön hallintaa sekä yksittäisten nimikkeiden etsintää. Nimikkeistöä ei kuitenkaan saa viedä liian tarkalle tasolle, koska se vaikeuttaa prosesseja ja lisää ylläpitämiseen käytettävää työmäärää. Yhtenäisten nimikkeiden avulla voidaan tehostaa mm. hankintoja, koska kunkin nimikkeen määrä saadaan selvitettyä helpommin ja laajemmin. Tällöin

myös ostot voidaan keskittää. Yhtenäisten nimikkeiden avulla myös kommunikointi helpottuu, koska tällöin voidaan varmistua siitä, että kaikki tarkoittavat samaa asiaa. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, s.18, Sääksvuori & Immonen 2002, s.19)

4.2 Nimikkeistöt Suomessa ja ulkomailla

Suomessa on yleisesti rakennusosalalla käytössä Talo 2000-nimikkeistö. Talo 2000-nimikkeistö on luotu sillä tarkoituksella, että se parantaisi osapuolten välistä tiedonsiirtoa. Talo 2000-nimikkeistöä käytetään kiinteistönpidossa sekä rakentamisessa erityisesti suunnittelun ja toteutuksen tehtävissä. Suunnitelmat, laskelmat ja luettelot edellyttävät tiedonsiirtoa ja -lajittelua, joiden avuksi kyseinen nimikkeistö on luotu. Talo 2000-nimikkeistö kuvaa kuitenkin pääosin enimmäkseen rakennustekniikkaa, eikä siihen ole tähän mennessä liitetty talotekniikan osia kuten LVI-järjestelmiä. (Talo 2000 -nimikkeistö 2008, s.16)

LVI-alalla on Suomessa olemassa muutamia rakennusosanimikkeistöjä. LVI-rakennusosanimikkeistöjä on tehty Talo-80-, Talo-90- ja LVI2010-nimikkeistöihin. Näiden lisäksi LVI-alalla on yleisesti käytössä Talotekniikka RYL-nimikkeistö, jonka mukaan usein erilaiset työselostukset laaditaan. Talotekniikka RYL:n nimikkeistö on siinä mielessä haasteellinen, että se kattaa kaiken mahdollisen ja teoksessa on pyritty kuvaamaan mahdollisimman laajasti kaikki LVI-tekniset järjestelmät sekä niiden tekniset vaatimukset.

Työssä on keskitytty LVI2010- ja Talotekniikka RYL-nimikkeistöjen käsittelyyn, koska ne ovat uusimmat suomalaiset nimikkeistöt. Suomalaisia tuotantonimikkeistöjä ei LVI-alalta löytynyt ja epäily on, että jokainen yritys on soveltanut omanlaisensa nimikkeistön tuotannon hallintaan. Rakennustekniikan alalta löytyi vastaavasti tuotantonimikkeistö mm. Talo 2000-nimikkeistöstä. Ulkomaisia nimikkeistöjä oli vähän ja niitä oli myös vaikea löytää. Varsinaisia LVI-nimikkeistöjä ei löytynyt yhtäkään, vaan ne oli aina linkitetty rakennustekniikan alle. Työssä käsitellään ulkomaisista nimikkeistöistä pohjoisamerikkalaista nimikkeistöä Master format sekä englantilaista nimikkeistöä Standard method of measurement of building work.

LVI2010-nimikkeistö (LVI 00-10473 2011)

LVI2010-nimikkeistön pääjako tehdään LVI-perusjärjestelmiin ja LVI-erikoisjärjestelmiin. LVI-perusjärjestelmiin sen mukaan kuuluvat: lämmitysjärjestelmät, vesi- ja viemärijärjestelmät, ilmastointijärjestelmät, jäähdytysjärjestelmät, palontorjuntajärjestelmät ja väestönsuojien LVI-järjestelmät. LVI-erikoisjärjestelmiin kuuluvat: paineilmajärjestelmät, kaasujärjestelmät, höyryjärjestelmät, nestejärjestelmät, uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmät, ilmatekniset järjestelmät ja polttomoottorien LVI-järjestelmät. (LVI 00-10473 2011, s.1)

Kunkin järjestelmän rakenteeksi nimikkeistössä on luotu seuraava: keskusosat, siirtoosat, pääteosat ja alueosat. Nimikkeistön ristiriitana tässä jaottelussa näyttää olevan se, miten jaotella alue- ja keskusosat. Esimerkiksi lämmönjakokeskus voi sijaita rakennuksen sisällä tai alueella. Ongelman myös jätevesien alueosissa tuottaa se, että siellä on erilaiset erottimet, kaivot ja pumppaamot, vaikka ne todellisuudessa voivat olla myös rakennuksen sisällä monissa tilanteissa. Jako alueosiin ei ole perusteltu, koska jaottelu on monissa tapauksissa hankala. Lisäksi esimerkiksi lämmityksen keskusosista löytyy nimik-

keistöstä ilmanvaihtoon selkeästi liittyviä asioita, jotka kukin pitäisi jaotella oman järjestelmänsä alle. Nimikkeistössä on myös sidottu osittain laitteistoja tiloille, vaikka tilat ja niiden laitteet ajan saatossa muuttuvat.

Nimikkeistössä vesi- ja viemärijärjestelmät ovat yhteisenä nimikkeenä. Siellä ei myöskään ole eroteltu eri viemärijärjestelmiä, kuten jäte- ja sadevesijärjestelmiä. Tällainen edellä kuvattu ”tarkempi” jaottelu työn nimikkeistössä on tarpeellinen, koska nimikkeistöllä pyritään vastaamaan sekä tietomallin että suunnittelun tarpeisiin. Vesi- ja viemärijärjestelmiin kuuluu nimikkeistön mukaan myös palopostit, vaikka nimikkeistössä on olemassa myös palontorjuntajärjestelmä.

Ilmastointijärjestelmä on jaettu samoin tavoin, kuin aiemmat ja niissä kummallinen jako on alueosat. Alueosiin on lueteltu lämmöntalteenotto- ja suodatinlaitteistot, vaikka ne eivät aina sijaitse ulkoalueella. Tähän samaan ryhmään kuuluvat nimikkeistön mukaan erilaiset ulkoilma- ja ulospuhalluslaitteet. Lisäksi ilmastointijärjestelmien keskus- ja alueosiin kuuluu molempiin lämmöntalteenotto-, ulko- ja jäteilmalaitteet. Eli käytännössä samat asiat ovat nimikkeistössä monessa paikassa.

Yleisesti ottaen LVI2010-nimikkeistössä on selvästi päällekkäisyyksiä järjestelmissä, sekä niiden osissa. Lisäksi osa asioista on sidottu jollekin tilalle tai niissä suoritettavalle toiminnalle, vaikka rakennuskohteet voivat olla hyvinkin erilaisia.

Talotekniikka RYL (Talotekniikka RYL 2002)

Talotekniikan RYL:ssa esitellään talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Julkaisuun on koottu kaikkien taloteknisten järjestelmien laatuvaatimukset. (Talotekniikka RYL 2002, s.5) Tällä julkaisulla on pyritty siihen, että hankkeiden laatuvaatimukset on kuvattu selkeästi. Tämä on käytännössä johtanut siihen, että teoksen nimikkeistöä käytetään työselostuksien pohjana. Julkaisulla ei siis ole varsinaisesti pyritty ajamaan pelkkää nimikkeistön asiaa, vaan pääsääntöisesti olemaan ohjetiedostona. Tämän vuoksi teoksessa onkin varsin laaja nimikkeistö, eikä kaikkia sen osia ole työssä järkevä ottaa tässä mittakaavassa käyttöön.

Talotekniikka RYL ei jaottele järjestelmiä LVI2010-nimikkeistö tapaan perus- ja erikoisjärjestelmiin. Talotekniikka RYL:n nimikkeistö on jaettu pääosin järjestelmittäin. Nimikkeistö jaottelee LVI-järjestelmät lämmitysjärjestelmiin, vesi- ja viemärijärjestelmiin, ilmastointijärjestelmiin, kylmätekniisiin järjestelmiin, kaasujärjestelmiin, höyryjärjestelmiin, palontorjuntajärjestelmiin, muihin LVI-järjestelmiin ja eristykseen. Kaasujärjestelmät on vielä jaettu sairaalakaasuun, teollisuuskaasuun, laboratoriokaasuun sekä neste- ja maakaasuun. Järjestelmien alta löytyi rakenne koneisto- tai keskuslaitteet ja putkisto. Osasta järjestelmistä löytyi näiden lisäksi myös päätelaitteet tai kalusteet. Nimikkeistö ei ole yhtenäinen, koska tietty rakenne ei toistu kaikkien järjestelmien alla.

Talotekniikka RYL:n nimikkeistön jaottelu on selvästi parempi kuin LVI2010-nimikkeistön, sillä se pyrkii jaottelemaan järjestelmittäin asiat. Tässä nimikkeistössä ei ole LVI2010-nimikkeistön tavoin jakoa perus- ja erikoisjärjestelmiin. Ongelmana tässäkin nimikkeistössä kuitenkin on se, että osa asioista on sidottu tiettyyn tilaan, esimerkiksi sairaalaan, teollisuuteen tai laboratorioon. Tällaista tilasidonnaisuutta ei haluta työn nimikkeistössä tehdä, jotta nimikkeistö on mahdollisimman monikäyttöinen ja toimiva vielä tulvaisuudessa tilojen muuttuessa.

Standard method of measurement of building work (SMM7 1992)

Kyseisessä englantilaisessa nimikkeistössä on standardoitu rakennusten mittaussääntöjä ja siitä löytyy myös rakennusalan nimikkeistö. Tässä nimikkeistössä LVI-järjestelmiä on jaoteltu seuraavien päänimikkeiden alle: jätejärjestelmät, putkitetut jakelujärjestelmät, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät sekä ilmanvaihtojärjestelmät. Jätejärjestelmiin tässä nimikkeistössä kuuluvat jätevesi-, sadevesi- ja salaojajärjestelmät sekä näiden käsittely- ja keskuslaitteet. Putkitettuun jakelujärjestelmään kuuluvat kaikki muut putkijärjestelmät, poisluettuna viemärijärjestelmät. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin kuuluvat kaikki näiden järjestelmien keskus- ja tuotantolaitteet. Ilmanvaihtojärjestelmään kuuluvat kaikki tulo- ja poistoilmajärjestelmät sekä niiden laitteet. Ilmanvaihtojärjestelmän nimikkeet on jaoteltu erilaisiin poistoilmajärjestelmiin, jonka lisäksi erilaiset ilmanjakotavat ja käsitteilymenetelmät on eritelty erikseen.

Tässä nimikkeistössä huomaa selvästi, että jako on haluttu tehdä putkijärjestelmiin, viemärijärjestelmiin sekä ilmanvaihtojärjestelmiin. Jako on siis pyritty tekemään selvästi karkeammaksi, kuin esimerkiksi Talotekniikka RYL-nimikkeistössä. Tämän nimikkeistön jaottelu on hankala suunnittelun näkökulmasta, koska jakoa ei ole tehty järjestelmittäin. Tästä syystä kyseisen nimikkeistön jaottelua on hankala käyttää apuna työn LVI-rakennusosanimikkeistön laadinnassa. Jaottelu ei myöskään sovellu erityisesti tuotantonimikkeistön laadintaa, koska tässä nimikkeistössä ei ole eritelty eri ammattiryhmiä.

Master format (Master format 2012)

Master format on pohjoisamerikkalainen nimikkeistö. Tässä nimikkeistössä jako on pyritty tekemään selvästi tarkemmalle tasolle kuin yllä kuvatussa englantilaisessa nimikkeistössä. Master format on samantyylinen nimikkeistö kuin Talotekniikka RYL, mutta nimikkeistöä ei ole jaoteltu yhtä tarkasti järjestelmittäin kuin Talotekniikka RYL:ssä. Nimikkeistössä putkisto ja pumpput on eroteltu oman nimikkeensä alle. Myös ilmanvaihto on jaettu ilman jakelulaitteisiin sekä puhdistuslaitteisiin. Näiden lisäksi jakoa on tehty myös hajautettuihin ja keskusjakelujärjestelmiin.

Nimikkeistö on jaettu seuraaviin päänimikkeisiin: LVI-polttoainejärjestelmät, LVI-putkistot ja pumpput, LVI-ilmanjako, LVI-ilmanpuhdistuslaitteet, keskuslämmityslaitteet, keskusjäähdytyslaitteet, keskus LVI-laitteet, hajautetut LVI-laitteet, palontorjunta, uimaallasjärjestelmät sekä kaasu- ja imujärjestelmät. Tämä nimikkeistö on melko sekava verrattuna Talotekniikka RYL:n nimikkeistöön. Tässä nimikkeistössä ei myöskään tehdä jakoa järjestelmittäin vaan enemmänkin tuotannon näkökulmasta. Selvä pääjako nimikkeistössä on kuitenkin tehty putkijärjestelmiin, ilmajärjestelmiin, palontorjuntaan, uima-alasjärjestelmiin sekä kaasu- ja imujärjestelmiin. Tätä nimikkeistöä ei voitu myöskään erityisemmin hyödyntää työn LVI-nimikkeistöjen laadinnassa, koska jako on sekava, eikä se erityisemmin tue suunnittelun eikä tuotannon näkökulmia.

4.3 *Nimikkeistön tiedonsiirtotehtävät*

Rakennushankkeissa suuri määrä tietoa siirretään eri osapuolten välillä. Tieto on järjestettävä monesta eri näkökulmasta, jotta osapuolten välinen tiedonsiirto ja – käsittely olisi mahdollisimman sujuvaa. Rakennushankkeen tarkastelunäkökulmat voidaan yleisesti jakaa kolmeen näkökulmaan (Talo 2000 -nimikkeistö 2008, s.7)

- tilaaja
- suunnittelija
- tuottaja.

Tilaajan näkökulmasta rakennus jaetaan rakennukselle ja sen tiloille asetettujen vaatimusten mukaan. Tilaaja on kiinnostunut saamista ominaisuuksista, kuten esimerkiksi huonetilan lämpötilasta ja riittävästä ilmanvaihdesta. Hän ei ole niinkään kiinnostunut siitä, minkälaisia järjestelmiä ja ratkaisuja niiden toteuttamiseen tarvitaan. Suunnittelijan näkökulmasta rakennus jaetaan tilaajan asettamien vaatimusten mukaisesti erilaisiin järjestelmiin ja suunnitteluratkaisuihin. Suunnittelijat ovat tilaajan tapaan kiinnostuneita ominaisuuksista, joita tiloista halutaan, mutta niiden lisäksi myös järjestelmistä, joilla ominaisuudet voidaan tuottaa. Kokonaiset järjestelmät ja ominaisuudet ovat heidän kannaltaan oleellisia, jotta järjestelmistä saadaan toimivia ja tilaajan tarpeet täyttäviä. Tuottajan näkökulmasta rakennus jaetaan tarjouslaskennan, hankinnan, tuotannonohjauksen ja työmaan tarpeiden mukaisesti. Tuottaja ei ole erityisen kiinnostunut tilojen teknisistä vaatimuksista, vaan pääpaino siirtyy työn tekemiseen. (Talo 2000 -nimikkeistö 2008, s.7)

Työssä täydennettävän ominaisuusnimikkeistön tehtävänä on toimia tilaajan ”tulkkina” tilaajan, suunnittelijan ja rakennuttajan välillä. Ominaisuusnimikkeet ovat työssä algoritmimallien lähtötietoja ja niillä pyritään kuvaamaan asiat konkreettisina ominaisuuksina, kuten esimerkiksi lämpötilana tai laitteiden lukumääränä. Tilaaja määrittelee ominaisuusnimikkeistön lähtötiedot, joiden perusteella ominaisuudet kuvataan muuntoalgoritmien avulla tuottaviksi järjestelmiksi. Esimerkkinä tällaisesta ketjusta voidaan mainita sairaalakaasu happi. Tilaaja määrittelee ominaisuusnimikkeistön lähtötietona kaasunotto-pisteiden lukumäärän sekä sairaalan tyypin. Tämän perusteella muuntoalgoritmi mitoittaa verkoston ja kaasukeskuksen.

LVI-osien rakennusosanimikkeistön tehtävänä on toimia valmiin rakennuksen kuvauksena suunnittelussa ja kiinteistönpidossa. Rakennusosanimikkeistöllä kuvataan järjestelmät tilaajan saamina palveluina / lopputuotteina, johon kunkin lopputuotteen tuottamiseen tarvittava järjestelmä kuvautuu. Talo 2000-nimikkeistössä rakennusosanimikkeet (ennen hankenimikkeet) on eroteltu alueosiin, talo-osiin, tila-osiin ja tekniikkaosiin. LVI-osien rakennusosanimikkeistö sijoittuu Talo 2000-nimikkeistössä tekniikkaosiin. (Talo 2000 -nimikkeistö 2008, s.12)

LVI-tuotantonimikkeistön tehtävänä on erotella hanke hankintoihin, toimituksiin ja tehtäviin sekä työläjehin. Erottelu tehdään toimi- ja ammattialoittain, hankinnan ja tuotannon näkökulmasta katsottuna. Nimikkeiden erotteluperusteena käytetään pienintä käytännössä esiintyvää toimituskokonaisuutta. Nimikkeet otsikoidaan työn tekemiseksi, koska on kyse tuotannosta. Tuotantonimikkeistöä on tarkoitus käyttää tuotantoluetteloissa, tuotantolaskelmissa, hankinta- ja tehtäväluetteloissa sekä tehtävälaskelmissa. (Talo 2000 -nimikkeistö 2008, s.13)

4.4 Työssä kehitettyjen LVI-nimikkeistöjen suunnitteluperiaatteet

Työn LVI-nimikkeistöjen laadinnassa pyrittiin ottamaan huomioon mahdollisimman paljon eri näkökulmia. Rakennusosanimikkeistön tarkoituksena on kuvata LVI-osia niiden tarjoamien palvelujen ja järjestelmien avulla. Tästä syystä kyseisen nimikkeistön otsikoinnissa on pyritty siihen, että se kuvaisi mahdollisimman hyvin tilaajalle tarjottua palvelua. Tilaaja ei esimerkiksi tilaa pumppuja ja vesijohtoja, vaan käyttövävettä. Nimikkeistössä on pyritty myös pois useimmissa nimikkeistöissä olevista tila- ja aluesidonnaisista ominaisuuksista. Nimikkeillä ei haluta sitoa toimintaa tilaan (väestönsuoja, pesula, laboratorio) tai alueeseen (rakennus, ulkoalueet), vaan nimike on pyritty laatimaan niin, että se voi sijaita missä tahansa. Tästä ominaisuudesta on pyritty pois lähinnä sen vuoksi, että rakennukset muuttuvat vuosien saatossa, jonka vuoksi myös tilat ja toiminnot muuttuvat. Kun järjestelmiä ja niiden toimintaa ei sidota tilaan, ei jouduta nimikkeistöä muuttamaan, kun uusia tiloja syntyy. Tätä väitettä puoltaa myös se, että usein LVI-järjestelmissä laitteet voivat sijaita sekä rakennuksen sisällä että ulkona, ja joissain tapauksissa näiden kahden rajapinnassa. Alueosat vaihtoehtoa ei ole myöskään nimikkeistöön lisätty edellä mainittuihin seikkoihin vedoten. Rakennusosanimikkeistöllä ei ole myöskään kuvattu laskujen maksajaa (tilaajan laitteet, käyttäjän laitteet), vaan puhtaasti järjestelmästä saatua lopputuotetta tilaajan näkökulmasta. Rakennusosanimikkeistön pääjaon valintaan (putkiosat, ilmanvaihto-osat, LVI-erikoisosat) on päädytty lähinnä hankkeiden seuraamiseen ja LVI-alan ammattijakoon vedoten. Käynnissä olevia hankkeita on helpompi seurata ja uusia hankkeita arvioida, kun saadaan hintatietoja eri osa-alueista koottua.

Tässä työssä kehitetyssä LVI-osien rakennusosanimikkeistössä on käytetty LVI2010-nimikkeistön tapaan kategorioita, jotka pyrkivät jaottelemaan järjestelmiä perus- ja erikoisjärjestelmiin. Tähän on päädytty myös siksi, että se helpottaa erilaisten rakennusten kustannuksien vertailua. Työn nimikkeistöä lähinnä oli Talotekniikka RYL:n jaottelu, sillä siinä jako on tehty pääosin järjestelmittain. Nimikkeistön nimikkeisiin ei ole kuitenkaan käytetty sanaa järjestelmä, koska tilaaja ei tilaa järjestelmää, vaan järjestelmästä saatua palvelua. Nimikkeistössä on jaoteltu järjestelmät Talotekniikka RYL:n nimikkeistöä tarkemmin. Vesi-, viemäri-, jätevesi- ja sadevesijärjestelmät sekä tulo- ja poistoilmajärjestelmät ovat työn rakennusosanimikkeistössä jaoteltu omiksi järjestelmikseen. Nimikkeistöllä pyritään tukemaan suunnittelua ja etenkin tietomallin toimintaa, jonka vuoksi järjestelmäkohtainen jako on looginen.

Tuotantonimikkeistöllä pyritään kuvaamaan LVI-osia tuotannon ja hankinnan näkökulmasta. Käytännössä se siis kuvaa palvelujen tuottamiseen tarvittavia asioita. Tuotantonimikkeet on pyritty jaottelemaan mahdollisimman selkeästi siten, että erikoisammattialat saadaan eroteltua käytännössä esiintyviin kokonaisuuksiin. Tuotannon näkökulmasta LVI-tekniikassa on muutamia työläjeja, joita erikoistuneet asentajat suorittavat. Tällaisia ovat putkityöt, ilmanvaihtotyöt, kylmäasentaminen sekä eristäminen. Työssä kehitetyllä rakennusosanimikkeistöllä ja tuotantonimikkeistöllä voidaan yhdessä tuottaa edellä kuvatut työläjit. Tuotantonimikkeistö on myös pyritty laatimaan niin, että se toimii yhdessä rakennusosanimikkeistön kanssa, jolloin nimikkeistöissä ei saa olla toistoa. Tuotantonimikkeistön päänimikkeiksi on valittu LVI-laiteasentaminen, putkisto- ja kanavaasentaminen ja LVI-eristäminen. Näihin nimikkeisiin on päädytty, koska tämän pienemmäksi urakoita ei ole järkevä jakaa. Teoreettisesti urakat voitaisiin vielä toteuttaa niin, että yksi urakoitsija asentaisi keskuslaitteet, toinen putkiston ja kolmas päätelaitteet.

Nimikkeistön suunnittelun aikana käytettiin hyväksi olemassa olevia nimikkeistöjä sekä haastateltiin käytännön LVI-tekniikan työtä tekeviä henkilöitä (Hauhia 2014, Mäenpää 2014, Ripatti 2014, Sillman 2013, Sillman 2014). Tämän lisäksi Haahtela-yhtiöissä käytiin keskustelua siitä, miten nimikkeistöistä saadaan mahdollisimman hyvin tarkoitustaan palvelevia. Näiltä kaikilta edellä mainituilta saatiin näkökulmia siihen, miten käytännössä asioita voitaisiin ja kannattaisi jaotella. Kehitystyön lopuksi päädyttiin siihen, että LVI-tekniikan osalta tarvitaan kaksi nimikkeistöä kuvaamaan erikseen hanketta (rakennusosanimikkeistö) ja tuotantoa (tuotantonimikkeistö). Lopullinen LVI-osien rakennusosanimikkeistö on liitteessä 1 ja LVI-osien tuotantonimikkeistö liitteessä 2.



Kuva 7. Rakennusosanimikkeen rakenne.

Kuvassa 7 on esitetty rakennusosanimikkeen rakenne. Kukin rakennusosanimike koostuu keskuslaitteista, putkistosta ja päätelaitteista. Yhdessä tämä kokonaisuus muodostaa toteutettavan järjestelmän / palvelun, jonka tilaaja määrittelee.

Kehitettyyn rakennusosanimikkeistöön on otettu vaikutteita Talotekniikka RYL:sta sekä LVI2010-nimikkeistöstä. Kumpikaan ei kuitenkaan aivan täysin vastannut tietomallin vaatimuksia, jonka vuoksi näitä nimikkeistöjä, kokemusta, haastatteluja sekä omaa päätelyä sovellettiin työssä. Rakennusosanimikkeistöä testattiin todellisen hankkeen tarjouslaskentamäärillä. Tässä testauksessa havaittiin, että rakennusosanimikkeistön kuvassa 7 esitetyllä rakenteella voidaan kuvata kaikki LVI-järjestelmät kattavasti. Esimerkin vuoksi on otettu testauksesta kaksi järjestelmää, joiden avulla voidaan havainnoida nimikkeistön toimintaa. Todellisuudessa nimikkeistön testaus suoritettiin koko hankkeen kaikille järjestelmille, jolloin testauksesta tuli kattavampi. Rakennusosanimikkeistön testauksesta on esimerkki liitteessä 3.

Mikäli rakennusosanimikkeistöllä haluttaisiin tukea avoimen rakentamisen periaatetta, järjestelmiä voitaisiin jaotella periaatteella support (tukiosat) ja infill (tilaosat). Avoimella rakentamisella tarkoitetaan loppukäyttäjän yksilöllisiä vaatimuksia huomioivaa rakentamisprosessia. Tässä rakentamistavassa pyritään mahdollisimman hyvään muuntojoustavuuteen. (Leino 2002, s.18-20, Luoma 1997, s.35-37) Keskuslaitteet voidaan tämän periaatteen mukaan lukea tukiosiin ja pääteosat tilaosiin. Tällöin esimerkiksi rakennusosanimikkeistön kohta 2.2.1 Tuloilma, voitaisiin jakaa seuraavasti

- tuloilman keskuslaitteet
- tuloilman pääjakelu
- tuloilman tilajakelu
- tuloilman päätelaitteet.

Edellä esitetyssä jaottelussa tuloilman pääjakelussa olisivat runkokehanavistot ja tilajakelussa olisivat tuloilman tila- ja kytkentäkanavistot. Tämä tapaus on annettu esimerkin vuoksi, eikä sitä ole viety lopulliseen nimikkeistöön.



Kuva 8. Tuotantonimikkeen rakenne (Talo 2000 -nimikkeistö 2008, s.75).

Kuvassa 8 on esitetty kunkin tuotantonimikkeen rakenne. Tuotantonimikkeet koostuvat tuotetoimituksesta (ilmanvaihtokone), asennustyöstä (ilmanvaihtokoneen asennus), asennuksessa tarvittavista asennustuotteista (kannakkeet) sekä asennuksessa tarvittavasta kalustosta (nostimet, siirtolaitteet).

Tuotantonimikkeistöön on otettu vaikutteita käytännön työtä tekevien henkilöiden haastatteluista ja suomalaisista sekä ulkomaisista nimikkeistöistä. Suurin hyöty tuotantonimikkeistön kehittämiseen oli haastatteluista, joiden avulla saatiin näkökulmia todellisen hankkeen jaottelusta. Tuotantonimikkeistöä testattiin lähinnä siten, kuinka hyvin se toimii yhteen rakennusosanimikkeistön kanssa (liite 4). Testauksessa havaittiin, että nimikkeistöissä ei esiintynyt ristiriitoja, ja niiden yhteiskäytöllä pystytään kuvaamaan erilaisia hankinta- ja toteutuskokonaisuuksia.

4.5 Järjestelmien kuvaaminen tuotantopaketeiksi

Rakennusosanimikkeistöä ja tuotantonimikkeistöä yhdistämällä voidaan tuottaa seuraavia tuotantopaketteja. Tuotantonimikkeistön kohta ”21 LVI-laitteasentaminen” voi sisältää kaikkien rakennusosanimikkeistön järjestelmien keskus- ja päätelaitteasentamisen, tai vaihtoehtoisesti vain keskuslaite- tai päätelaitteasentamisen. Tämän jaon lisäksi näiden nimikkeistöjen yhteiskäytöllä tuotantopaketteja voidaan tehdä myös järjestelmäkohtaisesti esimerkiksi valitsemalla vain lämmitysjärjestelmä tai jäähdytysjärjestelmä. Tuotantonimikkeistön kohta ”22 Putkisto- ja kanava-asentaminen” voidaan jakaa edellä kuvastusti myös järjestelmittäin. Tuotantonimikkeistön kohta ”23 LVI-eristäminen” voidaan jakaa keskuslaite- ja putkisto eristämiseen tai vaihtoehtoisesti vain keskuslaite-eristämiseen tai putkisto eristämiseen.

Esimerkkinä voidaan valita rakennusosanimikkeistöä kohta ”2213 Tuloilman päätelaitteet”. Tämän määrittämisen jälkeen siirrytään tuotantonimikkeistön kohtaan ”21 LVI-laitteasentaminen”, josta voidaan määritellä, mitä toimintoja päätelaitteisiin halutaan kohdistaa. Halutaanko, että tuloilman päätelaitteiden laiteasentaminen sisältää tuotetoimituksen, asennustuotteet, asennustyön ja kaluston. Vai halutaanko määritellä toimittajalle vain osa päätelaitteisiin kohdistuvista hankinnoista tai työstä. Vaihtoehtoja tuotantopakettien muodostamiseen työssä kehitettyjen nimikkeistöjen avulla on monia. Alla on esitetty muutamia esimerkkejä edellä kuvatusta tuloilman päätelaitteiden tuotantopaketeista. Vastaavia paketteja voidaan tehdä rakennusosanimikkeistön kaikista järjestelmistä ja niiden osista.

21 LVI-LAITEASENTAMINEN

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Tuotetoimitus
- Asennustuotteet
- Asennustyö
- Kalusto

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Tuotetoimitus
- Asennustuotteet
- Kalusto

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Tuotetoimitus
- Asennustuotteet

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Tuotetoimitus

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Asennustuotteet
- Asennustyö
- Kalusto

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Asennustuotteet
- Kalusto

2213 Tuloilman päätelaitteet

- Asennustyö

5 Algoritmimallit

5.1 Valitut algoritmimallit

Algoritmimallilla tarkoitetaan tässä työssä täsmällistä menettelytapaa, jonka avulla ratkaistaan jonkin LVI-järjestelmän tai sen osan laskennallinen ongelma (Korhonen 2013, s.3). Työssä täydennetään nykyistä Haahtelan TAKU[®]-tietomallia uusilla suunnittelua simuloivilla algoritmimalleilla, joiden avulla saadaan selville järjestelmien tai niiden osien kokoluokat määrineen. Työssä kehitettyjä algoritmimallien tuottamia järjestelmäkuvaus-ia käytetään Haahtelan TAKU[®]-tietomallissa hinnoittelun perusteena. Algoritmimallien sekä hinnaston avulla luodaan hankesuunnitteluvaiheessa hankkeelle tavoitehinta. Työn algoritmimalleiksi on valittu kustutus, kohdepoisto, sairaalakaasu happi, teollisuuden paineilma ja uima-altaiden vedenkäsittely. Algoritmimallit on valittu nykyisen TAKU[®]-tietomallin kehitystarpeiden perusteella.

Työssä käytettävä menettely on luonteeltaan abstrakti ja suunnittelua simuloiva. Järjestelmät on pystyttävä mitoittamaan ilman ennalta laadittuja suunnitelmia ja tuottamaan määräluettelot kustannusvertailujen pohjaksi. Mitoitusmallit toteutetaan käyttäjän valintojen perusteella. Vaikeuden työhön tuo se, että perinteistä suunnittelu – laskenta – menettelyä ei voida käyttää työssä apuna. Haahtelan TAKU[®]-tietomallin menetelmä on varsin ainutlaatuinen ja sen tarkoitus onkin kehittyä maailman johtavaksi rakennuksen tietomalliksi ennen varsinaista suunnitteluvaihetta. TAKU[®]-tietomallia on käytetty rakennushankkeissa jo jonkin aikaa, mutta talotekniikan kuvauskykyä halutaan tarkentaa.

Algoritmimalleja laadittaessa on jouduttu tekemään erilaisia oletuksia, käyttämään koke-musta, haastatteluja ja kirjallisuuden kaavoja hyödyksi. Algoritmimalleissa on pyritty ajattelemaan käyttäjää mahdollisimman paljon sekä tilanteena hankesuunnitteluvaihetta, jossa käytössä on hyvin vähän tietoa. Tästä syystä mitoitusmallien käyttäjän toimintaa on pyritty helpottamaan erilaisten kategorioiden ja esimerkkien avulla. Mallin käyttäjältä on myös pyritty kysymään mahdollisimman vähän asioita, jotta laskentamallin käyttö olisi vaivatonta. Näitä asioita oli erityisesti painotettu myös uusilta tietomalleilta vaadittavina ominaisuuksina kirjallisuuskatsauksessa (Ellis & Mathews 2002, s.641-642).

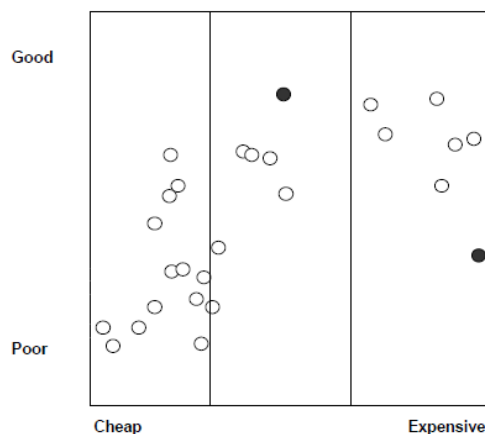


Kuva 9. Algoritmimallien rakenne.

Kuvassa 9 on esitetty algoritmimallien rakenne. Algoritmimallit koostuvat lähtötiedoista, joita käyttäjä antaa. Lähtötiedot ovat erilaisia ominaisuuksia, joita tarvitaan algoritmin toteuttamiseen. Lähtötietojen avulla toteutetaan kunkin järjestelmän algoritmi eli järjestelmän mitoitusmalli. Lopputietona lähtötietojen ja algoritmin perusteella saadaan lähtötietoa vastaava järjestelmäkuvaus määrineen. Lopputieto on tarkoitettu lähinnä alan ammattilaiselle, kuten suunnittelijalle tai urakoitsijalle.

5.2 Mallin ja tosimaailman väliset erot sekä mallin testaus

Suunnitteluvaiheen alussa on vaikea arvioida, minkälainen kohteesta todellisuudessa tulee. Suunnitteluratkaisuja on yhtä monta kuin on tekijöitäkin. Hankkeen edetessä moni asia tarkentuu ja tieto lisääntyy. On huomattu, että suunnitteluratkaisujen välillä on suuri hintavaihtelu ja pieni korrelaatio laadun ja kustannusten välillä. Kalliit ratkaisut eivät takaa parasta laatua, ja vastaavasti kohtuuhintaisella ratkaisulla voidaan saada hyvää laatua, kuten kuva 10 osoittaa. Jos hinta asetetaan liian alas, myös toteutettavien ratkaisujen määrä vähenee. Ongelmaksi CAD-suunnittelussa syntyy se, että sillä ei pystytä mallintamaan kustannuksia suunnittelun aikana. Tähän on syynä suunnittelun kumulatiivinen luonne. Suunnitelma täydentyy kaiken aikaa, jonka vuoksi CAD-mallin tuottama määrätieto on jatkuvasti puutteellinen. Vain valmiita suunnitelmia voidaan hinnoitella, jonka lisäksi suunnitteluohjelmista puuttuu tällä hetkellä hinnasto, jonka mukaan hinnoittelu voitaisiin suorittaa. (Niukkanen 1980, Pennanen, Ballard & Haahtela 2010, s.163,165-167, Pennanen 2004, s.45-46)



Kuva 10. Arkkitehtuurin laadun ja rakennuskustannusten välinen yhteys (Niukkanen 1980).

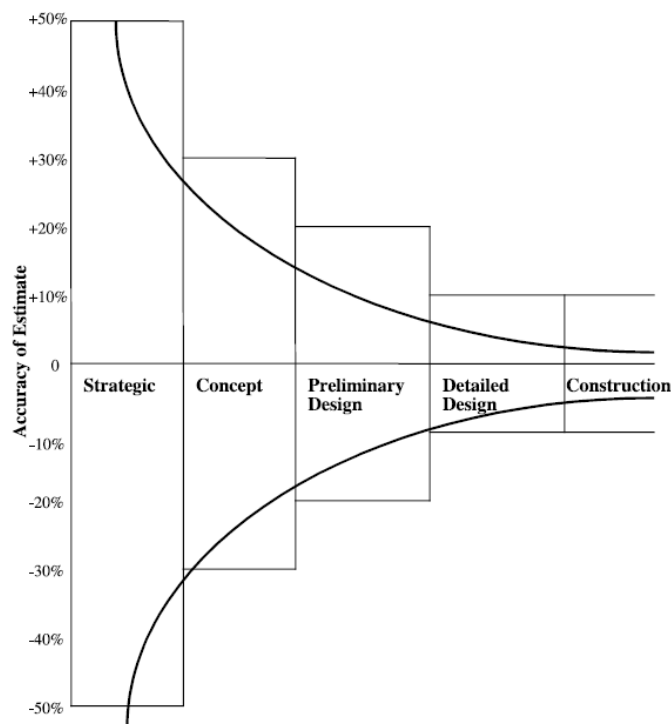
Tietomallin toiminnassa on tärkeää, että se tuottaa ratkaisuja sillä vaihteluvälillä, jolla suunnitteluratkaisuja on todellisuudessa löydettävissä. Kuva 10 kuvastaa erilaisten suunnitteluratkaisujen ja kustannusten välistä hajontaa. Jos suunnitelman ja tietomallin tulokset ovat erilaisia, se ei välttämättä tarkoita, että tietomallin tulos on väärä. Ero voi johtua todellisen maailman ratkaisujen vaihtelusta tai siitä, että malli on toiminnaltaan liian karkea. Tietomallissa käytetään ”mustalaatikko” menetelmää, joka mittaa analyyttisen mallin ja empiirisen datan eroja (Beer 1994). TAKU®- tietomalli pyrkii määrittelemään rakennuksen komponentit asiakkaan ominaisuuksien perusteella ja laskemaan hankkeelle kustannukset. Tietomalli käyttää menettelyä, jossa hankkeen kustannukset sovitetaan markkinoille. Malli ei pysty tuottamaan virheetöntä tulosta, sillä hintaan vaikuttaa moni tekijä. Asiakkaan tietojen perusteella kohde mallinnetaan ja hintaa verrataan toteutuneeseen referenssitason. Referenssitasona käytetään todellisia toteutuneita hankkeita. Näiden tietojen perusteella voidaan tehdä päätöksiä siitä, mitä hankkeelle halutaan jatkossa tehdä. (Pennanen 2004, s.54, Pennanen, Ballard & Haahtela 2010, s.164)

Hankkeen kallis hinta huomataan perinteisissä projekteissa vasta suunnitteluvaiheen kustannuslaskennassa, jolloin ainoiksi keinoiksi jää suunnitelman karsiminen ja asiakkaalle tärkeiden asioiden poistaminen. Tilaaajan on saatava enemmän tietoa kustannusvaikutuksista jo hankkeen aikaisemmissa vaiheissa, jotta voidaan tehdä ”oikeita” päätöksiä. Jos

käytössä on keino, jolla vaihtoehtoja voidaan vertailla jo päätöksentekovaiheessa, saataisiin asiakas sitoutettua paremmin hankkeeseen. Tämä myös vähentäisi myöhäisemmän vaiheen muutoksia. Suunnittelun ongelmana voidaan yleisesti pitää sitä, että suunnittelijat ja päätöksentekijät eivät osaa arvioida suunnitelmien kalleutta, jonka vuoksi myös kustannustehokkaita ratkaisuja ei välttämättä osata tehdä. (Haahtela & Kiiras 2013, s.27)

Kukin työssä kehitetty algoritmimalli on karkeutettu kuvaus tosimaailmasta. Algoritmimallien tulee olla riittävän hyviä kuvauksia tosimaailmaan nähden, jotta niiden perusteella voidaan tehdä päätöksiä. Koska tosimaailmassa asiakkaan tahtotilaa vastaa lukuisa joukko ratkaisuja, yhtä oikeaa ratkaisua ei ole olemassa. Ratkaisut muodostavat jakauman, jonka sisään mallin on osuttava. Kuten kuvasta 11 voidaan havaita, kustannusten vaihtelu liikkuu suunnitteluvaiheesta riippuen $\pm 10 - 50 \%$:n välillä. Tyypillisesti suunnitteluratkaisujen erot ovat luonnossuunnitteluvaiheessa luokkaa $\pm 20 \%$, jota käytetään algoritmimallien onnistumisen arviointiin. (AbouRizk, Babey & Karumanasseri 2002, s.655, Haahtela & Kiiras 2013, s.173).

Työssä kutakin algoritmimallia testattiin yhdellä todellisella hankkeella. Algoritmimallien testaaminen todellisilla hankkeilla oli antoisa työvaihe. Sen aikana huomattiin joitakin ongelmia algoritmimallien toiminnassa. Testauksen avulla pystyttiin tarkentamaan erityisesti putkiston mitoituskaavoja ja vedenkäsittelyn mallia. Kun testausvaiheessa havaittiin poikkeavuutta todellisen hankkeen ja algoritmimallin välillä, tarkennettiin mitoitusmalleja tarvittavilta osin.



Kuva 11. Kustannusarvioiden hajonta eri suunnitteluvaiheissa (AbouRizk, Babey & Karumanasseri 2002, s.655).

TAKU®- tietomallissa muodostetaan tavoitehinta, joka on hankkeen päämäärä. On selvää, että ohjaamattomassa suunnitteluprosessissa koko kuvassa 11 esitetty kustannusarvioiden hajonta esiintyy. Kanadalaisessa tutkimuksessa on todettu, että ennen suunnittelua laadittujen kustannusarvioiden hajonta on yleisesti $\pm 30 \%$ tasolla (AbouRizk, Babey

& Karumanasseri 2002, s.655). Hankkeiden johtamisen kannalta näin epätarkka kustannusarviointi on merkityksetöntä. Sen sijaan tavoitehintamenettelyssä ennen suunnittelua laadittujen kustannusarvioiden standardipoikkeama suhteessa toteutuneeseen kustannukseen on noin 6 %, joka tarkoittaa noin 10 %:n tarkkuutta. Yleensä näissä kohteissa lopulliset kustannukset alittivat hankkeen alussa määritellyn tavoitehinnan. (Ballard & Pennanen 2013, s.223) Kuten edellä on esitetty, tässä työssä ennen suunnittelua suoritettava tietomallintaminen helpottaa hankkeiden lopullisten kustannuksien määrittelyä. Tämä tarkoittaa sitä, että hankkeiden toteutuneet kustannukset ovat lähempänä hankkeen alussa määriteltyjä kustannuksia kuin mitä ne tähän mennessä ovat olleet.

5.3 Kohdepoisto

5.3.1 Kohdepoistojärjestelmän tausta

Teollisuuden prosesseissa huoneilmaan saattaa vapautua suuria määriä epäpuhtauksia. Altistumisen lähteitä voivat olla: hitsaustyöt, puutyöt, kivityöt, rakennustyöt, valaminen, hiekkapuhallus, jauhemaisten kemikaalien käsittely, maataloustyöt, elintarviketeollisuuden työt ja muu jauhemaisten aineiden käsittely. Teollisuudessa tilojen ilmanvaihto muodostuu sekä kohdeilmanvaihdosta että yleisilmanvaihdosta. Kohdeilmanvaihtoon kuuluu kohdepoiston lisäksi usein myös kohdepuhallus, jota käytetään perinteisen kohdepoiston rinnalla yhä enemmän. Yleisilmanvaihtoa käytetään lähinnä ilman lämpötilan ja kosteuden hallintaan sekä kohdeilmanvaihdon ohi tulleiden epäpuhtauksien laimentamiseen. Pitoisuuksien laimentamiseen tarvitaan yleisilmanvaihtoa hyödynnettäessä suuria ilmamääriä, jonka lisäksi ihminen altistuu suurille paikallisille pitoisuuksille. Kohdeilmanvaihdon käyttöä puoltaa usein myös se, että haitallisia epäpuhtauksia on joissain tilanteissa mahdollon hallita pelkän yleisilmanvaihdon avulla. Näiden syiden vuoksi kohdeilmanvaihtoa pyritään käyttämään aina, kun epäpuhtauslähteet ovat paikallisia ja ne heikentävät työilmanlaatua merkittävästi. Kohdepoiston tarkoitus on poistaa syntyneet epäpuhtaudet ennen kuin ne leviävät hengitettävään huoneilmaan. (Kulmala et al. 2004, s.4,93,99, Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.1-2)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012) otetaan kantaa siihen, millaisissa tapauksissa kohdepoistojärjestelmää tarvitaan. Kohdepoistoa pitää sen mukaan käyttää aina, mikäli huonetilassa syntyy keskitetysti pölyä, kaasuja tai huuruja. Epäpuhtauksien poistotehokkuutta voidaan lisätä epäpuhtauslähteen koteloinnilla. Keittiöt on varustettava sen mukaan liesikuvulla tai vastaavalla kohdepoistolla. Ammattikeittiöissä kohdepoisto toteutetaan erilaisten huuvien avulla. Kyseinen määräys ottaa kantaa myös ilmavirtoihin ja sen mukaan poistoilmavirtaa sekä vastaavasti ulkoilmavirtaa suurennetaan kohdepoistojen ja / tai hajujen hallitsemisen edellyttämällä tavalla. (Ympäristöministeriö 2012a, s.15,29)

Suurin syy siihen, että ihmiset altistuvat terveydellisesti haitallisille ja joissain tapauksissa jopa vaarallisille pölyille on se, että näiden aiheuttamia ongelmia ja haittoja on vaikea arvioida ja havaita. Haittojen havaitseminen vaatii käyttäjältä pölytyypin ja sen terveyshaittojen tuntemusta. Toiseksi syyksi voidaan lukea se, että kohdepoistojärjestelmää pidetään taloudellisesta näkökulmasta mahdottomana. (Kulmala et al. 2004, s.37)

Taulukko 1. Erilaisten pölylähteiden aiheuttamia terveyshaittoja (Kulmala et al. 2004, s.34).

Pöly	Terveyshaikka	Kohde-elin	Pölyjäte
Kvartsi	Silikoosi, keuhkosityöpä	Keuhkojen alveolialue	Alveolijäte
Asbesti	Asbestoosi, keuhkosityöpä, mesoteliooma	Keuhkoputkisto ja alveolialue	Keuhko- ja alveolijakeet
Lyijypöly	Myrkytys, verenkierto, ruuansulatuselimet ja hermosto	Hengityselinten kautta verenkiertoon	Hengittyvä jäte
Mangaani	Myrkytys, verenkierto ja keskushermosto	Hengityselinten kautta verenkiertoon	Hengittyvä jäte
Puupöly	Nenäsyöpä	Nenä	Hengittyvä jäte
Sementtipöly	Ihottuma	Iho	Kaikki hiukkaskoot

Taulukossa 1 on esitetty erilaisten pölylähteiden aiheuttamia terveyshaittoja. Taulukosta voidaan havaita, että lähes kaikki pölylähteiden aiheuttamat terveyshaitat ovat merkittäviä ja monissa tapauksissa hengenvaarallisia. Koska nämä kaikki pölylähteet ovat terveydelle vaarallisia, pitäisi ihmiset saada tietoisemmaksi riskeistä ja vakuutettua kohdeilmanvaihtojärjestelmien tarpeellisuudesta. Vakuuttaminen on erityisen tärkeää siitä syystä, että kustannuksia ei säästettäisi terveyden uhalla.

Kohdepoiston avulla luodaan poistolähteen välittömään läheisyyteen imuvirtaus, jonka avulla epäpuhtaudet voidaan kuljettaa pois. Kohdepoiston suunnittelu ja mitoitus perustuu pääosin kokemuseräisiin yhtälöihin. Poistoilmavirran tulee olla riittävän suuri, jotta syntyneet epäpuhtaudet saadaan tehokkaasti poistettua työskentelyalueelta. Kohdepoiston tehokkuutta voidaan kasvattaa erilaisten kotelointivaihtoehtojen avulla. Niiden ansiosta epäpuhtauden leviämistä voidaan rajoittaa paremmin. Kohdepoiston avulla voidaan edellä mainittujen lisäksi ottaa talteen tärkeitä raaka-aineita, suojata laitteita ja vähentää yleistä siivouksen tarvetta. Virtausteknisesti tehokas kohdepoisto voi siepata epäpuhtauksia tehokkaasti, mutta se ei vielä takaa hyviä työolosuhteita työntekijälle. Tärkeä seikka työntekijän altistumiselle on se, että hengitysvyöhyke ei saa jäädä epäpuhtauslähteen ja kohdepoiston väliin. Kohdepoisto tulee sijoittaa niin, että työntekijä ei joudu altistusvyöhykkeelle. (Kulmala et al. 2004, s.93, Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.1,19)

Teollisuuden kohdepoistojärjestelmiä on pääosin kahdenlaisia: matalapaine- ja korkeapainejärjestelmiä. Matalapainejärjestelmiä käytetään lähinnä kohteissa, joissa tarvitaan suuria ilmavirtoja. Tämän järjestelmän etuna on se, että kanavanopeudet ovat huomattavasti alhaisemmat kuin korkeapainejärjestelmässä, ja sitä myöden myös kanaviston kuluminen on vähäisempää. Haitaksi voidaan kuitenkin mainita se, että vastaavasti kanavakoot kasvavat. Horminopeus matalapainejärjestelmässä on luokkaa 5 - 15 m/s ja kokonaispaine 5 kPa. Korkeapainejärjestelmä perustuu pieneen tilavuusvirtaan ja suureen virtausnopeuteen. Korkeapainejärjestelmissä painehäviö on luokkaa 10 - 30 kPa ja horminopeudet voivat olla jopa 50 m/s, riippuen kuljettavasta aineesta. Kyseistä järjestelmää voidaan käyttää hiontakoneiden sekä pistosahojen yhteydessä, ja siihen on mahdollista liittää myös keskuspölynpoisto. Kanaviston kuluminen on huomattavasti nopeampaa matalapainejärjestelmään verrattuna, jonka vuoksi myös kanaviston materiaaliipaksuudet on huomioitava. (Kulmala et al. 2004, s.95-96, Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.16-19)

Kohdepoistojärjestelmien rakenne voidaan toteuttaa käytännössä kolmella eri tavalla (Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.14-15)

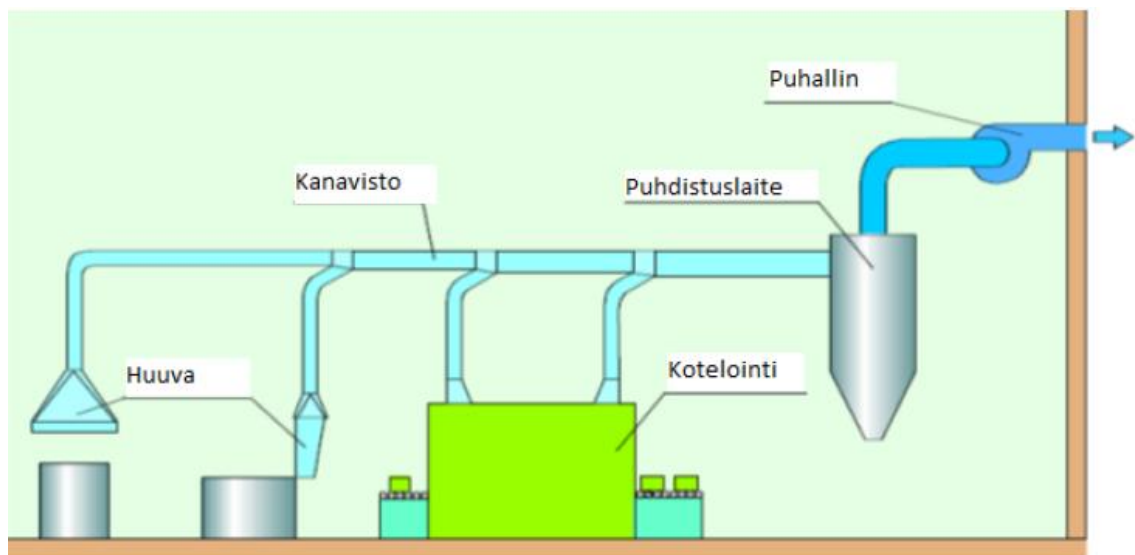
- keskitettynä
- ryhmiteltyinä
- yksittäisenä.

Keskitetyssä järjestelmässä kaikki kohdepoistot yhdistetään yhteiseen kanavistoon ja poistetaan rakennuksesta yhden keskuslaitteiston avulla. Tällaiseen järjestelmään voidaan päätyä, mikäli on hallittava useita pölyäviä lähteitä samanaikaisesti. Keskitetty järjestelmä asettaa haasteita suunnittelijalle sekä mittaus- ja säätötoille, sillä tällaisen järjestelmän mitoitus ja tasapainotus on työlästä. Ryhmitellyssä järjestelmässä voidaan valita kokonaisuuksia, jotka hallitaan yhden keskuslaitteen avulla. Tällä menetelmällä voidaan pyrkiä optimoimaan järjestelmän toiminnalliset ja taloudelliset tekijät. Yksittäisissä järjestelmissä kullakin kohdepoistolla on oma keskuslaitteistonsa. Yksittäiseen tai ryhmiteltyyn järjestelmään voidaan päätyä, mikäli tilat ovat kaukana toisistaan tai epäpuhtauslähteitä on vain muutamia. (Kulmala et al. 2004, s.95)

Keskitetyn järjestelmän eduiksi voidaan lukea keskuslaitteiston ohjaus ja valvonta sekä alhaiset hankintakustannukset. Ongelmia ja kustannuksia tässä järjestelmässä kuitenkin aiheutuu kanaviston pituudesta, muunneltavuudesta, säädöstä sekä siitä, että laitteiston vika saattaa pysäyttää koko järjestelmän toiminnan. Yksittäisen järjestelmän eduiksi voidaan mainita laitekohtaiset käyttöajat, muunneltavuus ja toimintavarmuus. Haitoiksi voidaan lukea suuret hankintakustannukset sekä tilan ja huollon tarve. (Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.16)

Algoritmimalli on perustettu keskitettyyn järjestelmään, sillä se on edullisin ratkaisu ja sen huoltaminen on helpointa. Järjestelmät ovat pääsääntöisesti matalapainejärjestelmiä, sillä kanavanopeudet ovat harvoissa tapauksissa korkeapainejärjestelmien luokkaa. Mitoitus-algoritmissa käsitellään pelkästään kohdepoistojärjestelmää.

Kuvassa 12 on esitetty karkea esimerkki kohdepoiston toteutusvaihtoehdosta. Kohdepoistojärjestelmään kuuluu yksinkertaistetusti puhallin, puhdistuslaite, kanavisto ja kohdepoistolaite. (Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.14-15)



Kuva 12. Kohdepoistojärjestelmä (Hagström et al. 2000, s.55).

5.3.2 Lähtö- ja lopputiedot

Mitoitettaessa pyöreitä kohdepoistolaitteita, käyttäjä antaa lähtötietona kohdepoistojen lukumäärän, sieppausnopeuden ja pölyn kuljetusnopeuden. Jos mitoitetaan koteloitua kohdepoistolaitetta, tarvitaan lähtötietona laitteiden lukumäärä, otsapintanopeus ja veto-kaapin leveys.

Lopputietona saadaan tarvittava kokonaisilmavirta, kanavisto ja painehäviö.

5.3.3 Mitoitus-algoritmi

Kohdepoistoratkaisuja on laskentamallissa kahdenlaisia, joko pyöreitä tai koteloituja kohdepoistolaitteita. Pyöreitä kohdepoistolaitteita käytetään teollisuudessa hitsauskaasujen ja purunpoiston laitteina. Koteloituja kohdepoistolaitteita voidaan käyttää, mikäli aineiden leviämistä tilaan halutaan välttää, tai poistettavana aineena ovat esimerkiksi myrkylliset kaasut. Koteloiduiksi kohdepoistolaitteiksi luetaan esimerkiksi vetokaapit.

Yhden pyöreän kohdepoistolaitteen ilmavirta saadaan laskettua kaavalla 1 (Kulmala et al. 2004, s.105)

$$q_v = v(10x_{poisto}^2 + A), \quad (1)$$

missä q_v on pyöreän kohdepoistolaitteen ilmavirta [m^3/s], v on sieppausnopeus kohdepoiston otsapinnalla [m/s], x_{poisto} on kohdepoistolaitteen ja poistettavan aineen välimatka [m] ja A on imuaukon otsapinta-ala [m^2]. Kaavan 1 nopeutena käytetään taulukon 2 sieppausnopeuksia. Sieppausnopeuden määrittäminen tehdään tilassa suoritettavan työn mukaisesti eli epäpuhtauden vapautumisnopeuden perusteella. Sieppausnopeuden määrittäminen tekee käyttäjä.

Taulukko 2. Sieppausnopeudet erilaisille epäpuhtauksien vapautumisnopeuksille (Kulmala et al. 2004, s.104, Teollisuuden kohdeilmavaihto 1982, s.48).

Epäpuhtauden vapautumisnopeus	Sieppausnopeus (m/s)	Esimerkki
Alhainen	0,3 - 0,5	Jauhemaisten aineiden annostelu, haihtuminen altaista esim. rasvapoisto
Melko alhainen	0,5 - 1	Hitsaus, pinnoitus, peittäminen, ruiskutuskoppi, jaksottainen säiliön täyttö, hitaasti liikkuvat kuljettimet (nopeus alle 1 m/s)
Melko suuri	1 - 2,5	Ruiskumaalaus kopissa, avokuljettimien täyttö ja purkaminen, tynnyrin täyttö, murskaimet
Suuri	2,5 - 10	Hionta, raepuhallus, rumpukiillotus

Mikäli kohdepoistolaite on koteloitu, tehdään poistoilmavirran mitoitus kaavan 2 avulla (Kulmala et al. 2004, s.103)

$$q_v = vA, \quad (2)$$

missä q_v on koteloidun kohdepoistolaitteen ilmavirta [m^3/s], v on koteloidun kohdepoistolaitteen otsapintanopeus [m/s] ja A on avoimen otsapinnan pinta-ala [m^2]. Kaavan 2 nopeutena käytetään taulukossa 3 annettuja otsapintanopeuksia. Käyttäjä määrittelee taulukon 3 avulla otsapintanopeuden. Imuaukon alana käytetään pääsääntöisesti vetokaapin aukeavaa osaa. Korkeutena laskennassa käytetään 0,3 m, jotta ilmamäärät eivät kasva liian suuriksi. Korkeuden rajoittamista puoltaa myös se, että kun esimerkiksi vetokaapeissa työskennellään, ne harvoin ovat täysin auki. Aukeavan osan leveys kysytään käyttäjältä.

Taulukko 3. Koteloidun kohdepoistolaitteen otsapintanopeuden arviointi (Kakkonen 2010, s.1).

Vaarallisuusaste	Otsapintanopeus (m/s)	Esimerkki
Pieni	0,4	Haitalliset hajut, höyryt, alhainen myrkyllisyys
Keskisuuri	0,5	Useimmat työskentelytilanteet
Suuri	0,7	Perkloorihappo, matalaradioaktiiviset aineet

Järjestelmän mitoitusilmavirta $q_{v,mit}$ saadaan laskettua yksittäisen kohdepoistolaitteen ilmavirran ja käyttäjän antaman laitemäärän perusteella kaavalla 3

$$q_{v,mit} = q_v n, \quad (3)$$

missä $q_{v,mit}$ on verkoston mitoitusilmavirta [m^3/s], q_v on yksittäisen kohdepoistolaitteen ilmavirta [m^3/s] ja n on kohdepoistolaitteiden lukumäärä [kpl].

Mitoitusilmavirran laskennan jälkeen lasketaan tarvittava kanavakoko poistettavalle aineelle kuljetusnopeuden ja mitoitusilmavirran avulla. Kuljetusnopeuden ohjearvot on esitetty taulukossa 4. Kuljetusnopeus kysytään käyttäjältä, johon annetaan alla olevat esimerkit.

Taulukko 4. Kuljetusnopeudet eri pölytyypeille (Kulmala et al. 2004, s.106, Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.50).

Pölytyyppi	Kuljetusnopeus (m/s)
Hyvin hienot ja kevyet pölyt	10
Kevyehköt pölyt (kuiva puupöly, muovipöly)	15
Tavalliset teollisuuspölyt (hiontapöly, karkea kumipöly)	18
Karkeat pölyt	20 - 23
Raskaat pölyt (lyijypöly, kostea pöly)	25

Jos kuljetettavana aineena on myrkyllistä kaasua, käytetään kuljetusnopeutena 6 m/s. Nopeus on valittu runkokanaviston enimmäisnopeuden perusteella. (Seppänen 2004, s.117)

Kanavan poikkipinta-ala voidaan määrittää kaavan 4 avulla (Laiho 1991, s.20)

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4)$$

missä A on kanavan poikkipinta-ala [m^2] ja d on kanavan halkaisija [m].

Järjestelmälle tarvittava runko- ja kytkentäkanavakoko saadaan määritettyä kaavan 2 ja 4 avulla. Nämä kaavat yhdistämällä saadaan kanavan sisähalkaisija määritettyä suoraan kaavan 5 avulla

$$d = \sqrt{\frac{4q_{v,mit}}{\pi v}}, \quad (5)$$

missä d on kanavan sisähalkaisija [m], $q_{v,mit}$ on mitoitusilmavirta [m^3/s] ja v on kuljetusnopeus [m/s]. Runkokanaviston mitoitukseen käytetään mitoittavaa ilmavirtaa ja kytkentäkanaviston mitoituksessa mitoitusilmavirta jaetaan laitteiden lukumäärällä. Kanavakoon valintaan tehdään ehto, jonka mukaan laskelman osoittamasta kanavakoosta valitaan yksi koko pienempi, koska laskettu mitoitusilmavirta on minimivaatimus. Kyseisellä oletuksella varmistutaan siitä, että kanaviston virtausnopeus on riittävä. Oletuksena käytetään myös sitä, että kanavakoko ei laske alle 100 mm. Kanavakoon valinta tehdään liitteen 5 taulukon avulla.

Tyypillisesti kohdepoistoverkosto on 1-kerroksisissa rakennuksissa, joiden kanaviston pituuden laskenta voidaan tehdä kaavojen 6 – 8 avulla. Runkokanaviston pituus voidaan määritellä kaavan 6 avulla

$$L_{runko} = 5n, \quad (6)$$

missä L_{runko} on runkokanaviston pituus [m] ja n on kohdepoistolaitteiden lukumäärä [kpl].

KytKentäkanaviston pituus voidaan määritellä kaavan 7 avulla

$$L_{kytkentä} = 3n, \quad (7)$$

missä $L_{kytkentä}$ on kytkentäkanaviston pituus [m] ja n on kohdepoistolaitteiden lukumäärä [kpl].

Kanaviston kokonaispituus voidaan määritellä kaavan 8 avulla

$$L_{kok} = L_{runko} + L_{kytkentä}, \quad (8)$$

missä L_{kok} on kanaviston kokonaispituus [m], L_{runko} on runkokanaviston pituus [m] ja $L_{kytkentä}$ on kytkentäkanaviston pituus [m].

Kanaviston painehäviö on määritettävä, jotta voimme valita oikeanlaisen puhaltimen / keskuslaitteiston. Kanaviston painehäviön laskentaa varten pitää määrittää kitkakerroin kaavan 9 avulla (Bagge & Pukkila 1978, s.20)

$$\lambda = \left(\frac{1}{1,14 - 2 \log \frac{k}{d_{mm}}} \right)^2, \quad (9)$$

missä λ on kitkakerroin [-], k on kanavan pinnankarheus [mm] ja d_{mm} on kanavan sisähalkaisija [mm]. Pinnankarheutena käytetään uudelle saumatulle peltikanavalle $k = 0,15$ (Bagge & Pukkila 1978, s.22).

Kitkapainehäviöt voidaan laskea kaavan 10 avulla (Bagge & Pukkila 1978, s.20)

$$\Delta p_{kit} = \frac{\lambda \rho_i v^2 L_{kok}}{2d}, \quad (10)$$

missä Δp_{kit} on kitkapainehäviö [Pa], λ on kitkakerroin [-], ρ_i on ilman tiheys [kg/m^3], v on kuljetusnopeus [m/s], L_{kok} on kanaviston kokonaispituus [m] ja d on kanavan sisähalkaisija [m]. Ilman tiheytenä laskennassa käytetään $\rho_i = 1,29$.

Kertavastusten aiheuttama painehäviö saadaan laskettua kaavalla 11 (Bagge & Pukkila 1978, s.24)

$$\Delta p_{ker} = \frac{\sum f_t n \rho_i v^2}{2}, \quad (11)$$

missä Δp_{ker} on kertavastusten aiheuttama painehäviö [Pa], $\sum f_t$ on kertavastuskertoimien summa [-], n on kohdepoistolaitteiden lukumäärä [kpl], ρ_i on ilman tiheys [kg/m^3] ja v on kuljetusnopeus [m/s]. Laskennassa käytetään kertavastuskertoimien summana $\sum f_t = 4$. Tämä on arvioitu sillä perusteella, että kullekin kohdepoistolaitteelle tulisi neljä kanavaosaa. Ilman tiheytenä laskennassa käytetään $\rho_i = 1,29$.

Kanaviston kokonaispainehäviö saadaan laskemalla kitka- ja kertavastukset yhteen kaavan 12 avulla (Bagge & Pukkila 1978, s.24, Laiho 1991, s.64)

$$\Delta p_{kok} = \Delta p_{kit} + \Delta p_{ker}, \quad (12)$$

missä Δp_{kok} on verkoston kokonaispainehäviö [Pa], Δp_{kit} on kitkavastusten aiheuttama painehäviö [Pa] ja Δp_{ker} on kertavastusten aiheuttama painehäviö [Pa].

Kun mitoitusilmavirta ja järjestelmän painehäviö ovat tiedossa, voidaan valita keskuslaite, joka voi olla esimerkiksi purunpoiston keskuslaite tai puhallin. Taulukossa 5 on esitetty kirjallisuuden antamat ohjearvot painehäviön arviointiin. Koska painehäviön arviointitaulukon vaihteluväli on melko suuri, päädyin tekemään edellä mainitun laskentamenettelyn.

Taulukko 5. Painehäviöiden arviointi virtausvastustyypeittäin (Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982, s.88).

Virtausvastuksen tyyppi	Vastuksen suuruus (Pa)	Virtausvastuksen syy
Ilman kiihdyttäminen	60 - 400	Ilman kiihdyttäminen esim. horminopeuteen kuluttaa energiaa
Huuvan sisäänvirtaus	25 - 500	Ilman virtaus huuvaan tai hormiin synnyttää turbulenssia
Hormin kitkavastus	5 - 50	Kitka vastustaa hormivirtausta (Pa/m)
Muotovastukset		
Kulma	25 - 100	90-astetta
Haara	25 - 100	
Laajennus, supistus	25 - 100	
Ilmanpuhdistin	100 - 2000	

5.3.4 Mallin testaus ja analysointi

Laskentamallia testattiin todellisen koulun suunnitelmilla. Koulussa oli purunpoistojärjestelmä, jossa oli 8 kohdepoistoa. Koulussa tehtävät työt vaihtelivat sahauksesta hiontoihin. Koska työn tyyppi oli edellä mainittu, valittiin sieppausnopeudeksi 0,5 m/s. Kyseinen sieppausnopeus soveltuu esimerkiksi hitsaustöihin. Näillä lähtötiedoilla saatiin yhden pyöreän kohdepoistolaitteen ilmavirraksi 123 l/s ja mitoitusilmavirraksi 984 l/s. Pölyn kuljetusnopeudeksi valittiin hienot, kuivat pölyt ja jauheet, jolloin kuljetusnopeus oli 15 m/s. Tämän perusteella runkokanavakooksi valikoitui 200 mm kanava ja kytkentäkanavakooksi 100 mm kanava. Koska kohdepoistoja oli 8 kpl, kanavapituutta tuli runkokanavistolle 40 m ja kytkentäkanavistolle 24 m.

Todellisen koulun suunnitelmissa yhden kohdepoistolaitteen ilmavirta oli 110 l/s/laite eli mitoitusilmavirta oli 880 l/s. Mallilla tuotettu virtaama oli todellisen koulun mitoitusilmavirtaa 104 l/s eli 12 % suurempi. Kanaviston kokonaispituus oli laskentamallissa 4 m enemmän, kuin todellisessa hankkeessa. Laskentamalli antaa siis noin 7 % enemmän kanavistoa, kuin todellinen suunnitelma osoittaa. Todellisessa koulussa oli käytetty kahta runkokanavakokoa 160 mm ja 200 mm kanavaa. Laskentamalli mitoittaa vain 200 mm kanavaa. KytKentäkanavisto oli todellisessa koulussa ja laskentamallissa samaa kokoa. Kanaviston vertailu on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Todellisen hankkeen ja mallin kanaviston vertailu.

Kanavisto	Lähde	Määrä (m)	Koko (mm)
Runkokanavisto	Malli	40	200
	Todellinen	28	160, 200
KytKentäkanavisto	Malli	24	100
	Todellinen	32	100
Kaikki yhteensä	Malli	64	100, 200
	Todellinen	60	100, 160, 200

Kun verrataan todellista keskuslaitetta mallin antamiin keskuslaitteen tietoihin taulukon 7 avulla, havaitaan laskentamallin mitoittavan alhaisemman virtaaman ja painehäviön todelliseen hankkeeseen verrattuna. Todellisen hankkeen laite on kuitenkin oletettavasti jonkin verran ylimitoitettu, koska se on lopullinen laite, joka järjestelmään on valittu. Ei siis mitoitusinfo. Tästä syystä keskuslaitteiston tarkempi arviointi tulee tehdä useammilla hankkeilla, jolloin löydetään malliin todellinen mitoitusinfo.

Taulukko 7. Keskuslaitteen vertailu todellisen hankkeen ja mallin välillä.

Todellinen ÅSS 3500 CS (Ourex 2014, s.2)	Tekniset tiedot	
Laitteen max. ilmavirta	970	l/s
Laitteen max. alipaine	11	kPa
Mallin laskemat tiedot		
Laskettu ilmavirta	960	l/s
Laskettu alipaine	5,2	kPa

Tämän algoritmimallin ero todelliseen hankkeeseen verrattuna liikkui $\pm 7 - 12 \%$:n välillä, jonka vuoksi voidaan todeta mallin toimivan riittävällä tarkkuudella asetettuun $\pm 20 \%$:n tavoitteeseen nähden.

Kun laskentamallin herkkyyttä tarkasteltiin, olennaista oli se, kuinka suureksi sieppausnopeus määriteltiin. Mikäli sieppausnopeutena käytettiin viitearvojen ylärajoja, ilmavirrat kasvoivat melko suuriksi. Toinen oleellinen seikka on se, kuinka suureksi kuljetusnopeus määritellään. Mitä suurempi se on, sen pienempi kanavisto tulee. Yleisesti pölyisissä lähteissä nämä annetut arvot ovat minimivaatimuksia, jotta pöly ei laskeudu kanavistoon. Tähän seikkaan vedoten, on hyvä arvioida kuljetusnopeus mieluummin hieman liian suureksi kuin pieneksi. Kanaviston virtausnopeus puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka iso puhallin tarvitaan. Mitä suuremmat virtaamat valitaan, sitä tehokkaampi puhallin tarvitaan. Yleisesti ottaen kaikkiin näihin valintoihin vaikuttaa se, mitä asioita halutaan painottaa. Halutaanko valita ”tiukka” kanavisto ja tehokkaampi keskuslaite vai vaihtoehtoisesti ”väljä” kanavisto ja vähemmän vaatimuksia keskuslaitteelta.

Kertavastusten arviointi voi myös aiheuttaa vääristymää malliin. Jos se on määritelty väärin, aiheuttaa se liian suuren tai pienen painehäviö, mikä johtaa vääränkokoiseen keskuslaitteeseen. Malliin on kuitenkin tehty tarkempi painehäviötarkastelu, eikä ole käytetty taulukon 5 painehäviön arviointitaulukkoa. Kanavistot ja niiden laitteiden määrät vaihtelevat melko paljon, jonka vuoksi tehtiin painehäviötarkastelu tarkemmin.

5.4 Kostutus

5.4.1 Kostutusjärjestelmän tausta

Ilman kostutus voidaan toteuttaa joko vedellä tai höyryllä. Vedellä toimivia kostuttimia ovat sumutus- ja haihdutuskostuttimet. Sumutuskostuttimissa vesi hajotetaan pieniksi pisaroiksi ilmaan pumpun sekä suuttimien avulla, tai vaihtoehtoisesti sekoittamalla veteen paineilmaa. Sumutuskostuttimien suurin ongelma on kuitenkin veden mukana ilmaan pääsevät mineraalit, jotka kerääntyvät mm. sähkölaitteisiin. Sumutuskostuttimien altaissa oleva vesi tarjoaa hyvät kasvumahdollisuudet bakteereille, sienille ja leville, jolloin vesisumun välityksellä ne leviävät helposti myös ilmaan. Hieman hygieenisempi tapa käyttää sumutuskostuttimia, on sumuttaa vesi ilmaan ultraäänen avulla, jolloin ultraääni poistaa ilmasta bakteereja. Haihdutuskostuttimissa ilma saadaan kostutettua kennomaisen märän rakenteen avulla, jolloin kostutus tapahtuu ilman ja märän pinnan välillä. Tyypillisiä haihdutuskostuttimia ovat erilaiset kennokostuttimet. Haihdutuskostuttimien kennot luovat myös bakteereille kasvualustan. Haihdutuskostuttimia voidaan kuitenkin pitää sumutuskostuttimia hygieenisempänä tapana kostuttaa, koska haihdutuskostuttimessa epäpuhtaudet eivät siirry suoraan ilmaan, vaan vesi haihtuu märältä pinnalta. Höyrykostuttimissa ilmaan johdetaan vesihöyryä, joka voidaan tuottaa erillisellä höyrykehittimellä. Jossain tapauksissa höyryä saadaan tuotettua suoraan jossain muussa prosessissa, jolloin höyrykehittimen käyttö on erityisen perusteltua. Tällaisia kohteita voivat olla mm. sairaalat ja teollisuuden laitokset. Koska höyrykostuttimissa käytetään korkeaa lämpötilaa avuksi, ei höyrykostuttimen avulla ilmaan levitetä epäpuhtauksia. Tähän syynä on lähinnä se, että bakteerit ja sienet eivät pysty kasvamaan näin korkeissa lämpötiloissa. Höyrykostuttimien käyttö on yleistynyt sumuttaviin kostuttimiin verrattuna, koska höyrykostuttimien ilman puhtaustaso on osoittautunut selvästi korkeammaksi. (Ilmastointiteknikka opetusmonisteet 2006, s.35, LVI 74-40005 1991, s.1, Neste, Air-Ix-suunnittelu & Ekono 1990, s.110, Seppänen 1996, s.193-194, 241-243)

Sisäilmastoluokitus ottaa kantaa suhteelliseen kosteuteen vain sisäilmastoluokassa S1. Sen mukaan ilman suhteellisen kosteuden tulee olla talvella suurempi kuin 25 %. Suhteellinen kosteus tulee kuitenkin pitää alle 60 %:n, jotta bakteerit ja muut epäpuhtaudet eivät saa otollisia olosuhteita lisääntymiseen. Sisäilmastoluokitus ei anna ohjeita suhteellisen kosteuden osalta muille sisäilmastoluokille. Suomen rakentamismääräyskoelman osassa D2 (2012) todetaan, että rakennus on suunniteltava ja toteutettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea, eikä kosteutta saa tiivistyä rakenteisiin tai niiden pinnoille. Kosteus ei saa myöskään tiivistyä ilmanvaihtojärjestelmään, koska siitä voi aiheutua kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua sekä muuta terveydellistä haittaa. Sisäilman absoluuttisen kosteuden ollessa 7 g/kg, k.i., voidaan prosessia kostuttaa vain painavista syistä. Tällaisina syinä voidaan pitää ainoastaan prosessin tai varastoinnin vaatimuksia. Vastaavasti alhaisen suhteellisen kosteuden haittoja vältetään pitämällä lämpötiloja riittävän alhaisina. (LVI 05-10440 2008, s.13, Ympäristöministeriö 2012a, s.8)

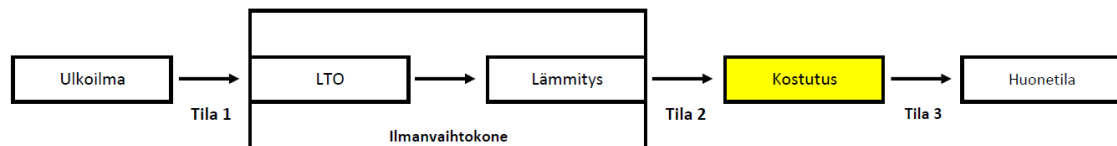
Mitoituksessa on päädytty käyttämään höyrykostuttimia, sillä se on hygieniasyistä parempi ratkaisu kuin muut kostutusvaihtoehdot ja sen käyttö on yleisempää. Höyrykostuttimeen päädyttiin myös siksi, että lopputuloksen kannalta höyrykostuttimen käyttöalue on laajempi kuin muiden kostuttimien. Algoritmimallissa kostutin on oletettu kanavistoon asennettavaksi, jolloin tilojen muuntojoustavuus on parempi.

5.4.2 Lähtö- ja lopputiedot

Käyttäjä antaa lähtötietona suhteellisen kosteuden ja ilman lämpötilan laskettavassa tilassa / tiloissa.

Lopputietona saadaan höyrykostuttimen massavirta.

5.4.3 Mitoitus-algoritmi



Kuva 13. Kostutusmallin ilmaprosessin kuvaus.

Kuvassa 13 on esitetty tässä kostutusmallissa käytetty ilmaprosessi. Siinä ei ole otettu kantaa muihin ilmaprosessilaitteisiin, kuin niihin, jotka liittyvät laskentaan. Algoritmimallissa on ajateltu, että ilmanvaihtokoneessa suoritetaan ensin ilman lämmitys lämmöntalteenoton ja lämmityspatterin avulla. Tätä lämmöntalteenoton ja lämmityspatterin yhteisvaikutusta on kuvattu laskennassa tilalla 2. Tämän jälkeen ilma kostutetaan erillisellä ilmanvaihtokanavistoon asennettavalla kostuttimella. Tähän valintaan on päädytty siksi, että se kattaa useamman toteutusratkaisun, kuin se, että olisimme ajatelleet kostuttimen suoraan ilmanvaihtokoneeseen lämmöntalteenoton jälkeen. Kanavistoon asennettavan kostuttimen avulla voidaan erilliset kostutettavat tilat hallita paremmin ja suunnitteluvaiheessa ottaa kantaa tarkemmin kostutettaviin tiloihin.



Kuva 14. Mitoituksessa käytettävät tilat ja niiden selitykset.

Mitoituksen tilat on jaettu kuvan 14 mukaisiin vaiheisiin. Tilalla 1 tarkoitetaan lämmittämätöntä ulkoilmaa. Tilalla 2 tarkoitetaan ilman tilaa lämmityksen jälkeen (lämmöntalteenotto & lämmityspatteri). Tilalla 3 tarkoitetaan sisäilman haluttavaa tilaa, eli ilman tilaa kostutuksen jälkeen.

Algoritmissa lasketaan tiloille 1 ja 3 kylläinen höyrynpaine, vesihöyryn osapaine, absoluuttisen kosteus sekä ominaisentalpia. Tilalle 2 mallissa lasketaan lämpötila, suhteellinen kosteus, kylläinen höyrynpaine, vesihöyryn osapaine ja absoluuttisen kosteus. Ulkoilman tilan (tila 1) oletusarvoina laskennassa käytetään Etelä-Suomen alueelle osoitettua mitoittavaa ulkolämpötilaa -26 °C ja suhteellista kosteutta 85 % (Ympäristöministeriö 2012b, s.29, Sisäilmayhdistys).

Kylläinen höyrynpaine lasketaan kaavalla 13 (Seppänen 1996, s.188)

$$p'(T) = \frac{e^{(77,345 + 0,0057T - \frac{7235}{T})}}{T^{8,2}}, \quad (13)$$

missä $p'(T)$ on kylläinen höyrynpaine [Pa] ja T on kostean ilman lämpötila [K]. Tätä kaavaa käytetään kaikkien tilojen 1 - 3 laskentaan.

Absoluuttinen kosteus lasketaan kaavalla 14 (Seppänen 1996, s.188)

$$x = 0,622 \frac{p_h}{p - p_h}, \quad (14)$$

missä x on absoluuttinen kosteus [kg/kg,k.i.], p_h on vesihöyryn osapaine [Pa] ja p on ilmanpaine [Pa]. Ilmanpaineena laskennassa käytetään $p = 101325$. Kaavaa 14 käytetään tilojen 1 ja 3 laskentaan. Laskennassa on tehty oletus, että lämmöntalteenottoalaite on rekuperatiivinen, jolloin kosteutta ei siirry ilmavirtojen välillä. Tästä syystä tilan 2 absoluuttinen kosteus ulkoilmassa ja lämmityksen jälkeen ovat samat ($x_1 = x_2$).

Vesihöyryn osapaine voidaan laskea kaavan 15 avulla

$$p_h = \frac{xp}{0,622 + x}, \quad (15)$$

missä p_h on vesihöyryn osapaine [Pa], x on absoluuttinen kosteus [kg/kg,k.i.] ja p on ilmanpaine [Pa]. Ilmanpaineena laskennassa käytetään $p = 101325$. Kaava on johdettu absoluuttisen kosteuden kaavasta 14. Tätä kaavaa käytetään tilan 2 laskentaan.

Vesihöyryn osapaine voidaan laskea myös suhteellisen kosteuden kaavan avulla (Seppänen 1996, s.188)

$$p_h = \varphi p'(T), \quad (16)$$

missä p_h on vesihöyryn osapaine [Pa], φ on suhteellinen kosteus [%] ja $p'(T)$ on kylläinen höyrynpaine [Pa]. Tätä kaavaa käytetään tilojen 1 ja 3 laskentaan.

Ominaisentalpia saadaan laskettua kaavalla 17 (Seppänen 1996, s.189)

$$h = c_{pi}T + x(l_{vh} + c_{ph}T), \quad (17)$$

missä h on ominaisentalpia [kJ/kg], c_{pi} on ilman vertailutilan ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C], T on lämpötila [°C], x on absoluuttinen kosteus [kg/kg,k.i.], l_{vh} on vesihöyryn vertailutilan latenttilämpö [kJ/kg] ja c_{ph} on höyryn vertailutilan ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]. Tätä kaavaa käytetään tilan 1 ja 3 laskentaan. Kaavoissa 17 ja 18 käytetään ilman vertailutilan ominaislämpökapasiteettina $c_{pi} = 1,006$, vesihöyryn vertailutilan latenttilämpönä $l_{vh} = 2501$ ja höyryn vertailutilan ominaislämpökapasiteettina $c_{ph} = 1,85$.

Ilman lämpötila saadaan laskettua kaavalla 18

$$T = \frac{h - x l_{vh}}{c_{pi} + x c_{ph}}, \quad (18)$$

missä T on ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$], h on ominaisentalpia [kJ/kg], x on absoluuttinen kosteus [kg/kg, k.i.], l_{vh} on vesihöyryyn vertailutilan latenttilämpö [kJ/kg], c_{pi} on ilman vertailutilan ominaislämpökapasiteetti [$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$] ja c_{ph} on höyryyn vertailutilan ominaislämpökapasiteetti [$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$]. Kaava on johdettu ominaisentalpian kaavasta 17. Tätä kaavaa käytetään tilan 2 lämpötilan laskentaan.

Suhteellinen kosteus saadaan laskettua kaavalla 19 (Seppänen 1996, s.188)

$$\varphi = \frac{p_h}{p'(T)}, \quad (19)$$

missä φ on suhteellinen kosteus [%], p_h on vesihöyryyn osapaine [Pa] ja $p'(T)$ on kylläinen höyrynpaine [Pa]. Tätä kaavaa käytetään tilan 2 laskentaan.

Lämmityksen jälkeisen tilan, eli tilan 2 ominaisentalpia ratkaistaan kaavan 20 avulla (Seppänen 1996, s.194)

$$h_h = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_3 - h_2}{x_3 - x_2}, \quad (20)$$

missä h_h on höyryyn ominaisentalpia [kJ/kg], h_2 on ilman ominaisentalpia lämmityksen jälkeen [kJ/kg], h_3 on ilman ominaisentalpia kostutuksen jälkeen [kJ/kg], x_2 on ilman absoluuttinen kosteus lämmityksen jälkeen [kg/kg, k.i.], x_3 on ilman absoluuttinen kosteus kostutuksen jälkeen [kg/kg, k.i.]. Jotta voidaan ratkaista ominaisentalpia tilassa 2 eli lämmityksen jälkeen, pitää asettaa ehto $h_h = \Delta h / \Delta x$. Iteroimalla h_2 ominaisentalpiaa, saadaan toteutettua ehto $h_h = \Delta h / \Delta x$. Höyryyn ominaisentalpiana käytetään 100°C :n höyryyn ominaisentalpiaa NTP-oloissa eli $h_h = 2675$. Näiden tietojen avulla saadaan ratkaistua tilan 2 ominaisentalpia.

TAKU[®]-tietomallista saadaan tilalle mitoitettu ilmavirta, jonka perusteella saadaan laskettua ilman massavirta, jota käytetään höyryyn massavirran määrittämiseen (Laiho 1991, s.21). Ilman massavirta saadaan laskettua kaavan 21 avulla

$$q_m = q_v \rho_i, \quad (21)$$

missä q_m on ilman massavirta [kg/s], q_v on ilman tilavuusvirta [m^3/s] ja ρ_i on ilman tiheys [kg/m^3]. Ilman tiheytenä laskennassa käytetään $\rho_i = 1,29$.

Höyryyn massavirta voidaan laskea kaavalla 22 (Seppänen 1996, s.194)

$$q_{mh} = q_m (x_3 - x_1) 3600, \quad (22)$$

missä q_{mh} on höyryyn massavirta [kg/h], q_m on ilman massavirta [kg/s], x_1 on ulkoilman absoluuttinen kosteus [kg/kg, k.i.] ja x_3 on ilman absoluuttinen kosteus kostutuksen jälkeen [kg/kg, k.i.].

5.4.4 Mallin testaus ja analysointi

Mallia testattiin todellisen taidemuseon suunnitelmilla. Kostutusta tässä kohteessa oli käytetty näyttelytiloihin. Näyttelytilojen kokonaistuloilmavirta suunnitelmissa oli 550 l/s, haluttu ilman lämpötila 21 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Kokonaishöyryvirraksi oli suunnitelmien mukaan mitoitettu 22 kg/h. Todelliseen kohteeseen oli valittu kolme Airwin N-KBD 12-ultraäänikostutinta (Airwin 2014).

Algoritmimallia testattiin suunnitelmista saaduilla lähtöarvoilla, eli lämpötilalla 21 °C, suhteellisella kosteudella 50 % ja ilmavirralla 550 l/s. Näiden tietojen avulla laskentamalli antoi lasketuksi höyryvirraksi 19 kg/h. Laskentamalli antoi siis hieman pienemmän höyryvirran, kuin todellisessa hankkeessa oli mitoitettu. Mallin tuottama höyryvirta oli 3 kg/h pienempi kuin todellisen hankkeen eli noin 14 %. Tästä voidaan päätellä, että malli toimii riittävällä tarkkuudella, sillä tavoite oli ± 20 %:n tarkkuus. Kostuttimen tyypistä voidaan havaita, että todellisessa kohteessa ei mahdollisesti ole vaadittu yhtä korkeaa hygieniatasoa kuin mallissa on oletettu.

Todellisessa hankkeessa kostutin on todennäköisesti hieman ylimitoitettu, mitä laskentamalli ei tee. Laskentamallin testaus kuitenkin osoitti, että kostutin voidaan valita lasketun virtaaman perusteella. Ongelmana laskentamallin ja todellisuuden välillä on se, että ei voida tietää, kuinka moneen osaan tilat todellisuudessa jaetaan, kuinka etäällä kostutettavat tilat ovat toisistaan ja palveleeko näitä tiloja vain yksi yhteinen kone vai useampia. Laskentamalli pyrkii tällä hetkellä laskemaan yhteisen kostuttimen kaikille kostutettaville tiloille. Algoritmimalli tekee myös oletuksen, että aina käytetään höyrykostutinta, vaikka todellisuudessa kostuttimia on myös paljon muitakin. Kostutuksen yhteydessä käytetään usein palautusilmaa, jonka vuoksi kostutustarve todellisuudessa on usein jonkin verran algoritmin laskemaa massavirtaa pienempi.

5.5 Sairaalakaasu happi

5.5.1 Happijärjestelmän tausta

Sairaaloissa ja terveydenhuollon laitoksissa kaasuja käytetään useisiin eri tarkoituksiin. Sairaalakaasuilla eli lääkkeellisillä kaasuilla tarkoitetaan hoito-, tutkimus- ja elvytystarkoituksiin käytettäviä kaasuja. Potilashoidon lisäksi kaasuja käytetään lääkkeiden valmistukseen, latteiden kalibrointiin sekä erilaisiin tutkimuksiin. Sairaalakaasut kuuluvat lääkelain ja lääkeasetuksen piiriin. Tyypillisimpiä sairaalakaasuja ovat happi, ilokaasu, hengitysilma ja instrumentti-ilma. (LVI 62-10092 1988, s.2, Oy Aga Ab a, s.1, Rautio 1989, s.1, Suomen sairaalatekninen yhdistys ry 2014, s.2, Talotekniikka RYL 2002, s.205)

Jokaisessa suomalaisessa sairaalassa on kaasujärjestelmä tai kaasujärjestelmiä, joiden tarkoituksena on kaasun turvallinen ja taloudellinen jakelu. Kaasu johdetaan kaasuvälikäytöstä (säiliö, pullopaketti tai kaasupullo) kaasuputkiston kautta kaasunottopisteille. Happea voidaan sairaaloissa varastoida nestemäisessä muodossa säiliössä tai puristetussa muodossa pullopaketeissa tai kaasupulloissa. Kaasukeskuksen sijainti vaihtelee kohteesta riippuen, mutta pääsääntöisesti ne sijaitsevat sairaalarakennuksessa katutasossa tai vaihtoehtoisesti erillisessä rakennuksessa tai pihalla. (Oy Aga Ab 2007)

Sairaalakaasuverkoston rakenne voi olla joko suora- tai rengasverkko. Suoria verkostoja käytetään terveyskeskuksissa ja kaupunginsairaaloissa. Rengasverkostoja käytetään suurissa terveydenhuollon laitoksissa, kuten keskussairaaloissa. Algoritmimallin putkiston mitoitus on tehty suoran verkon perusteella, koska pääosa sairaalakohteiden verkostoista käyttää tätä rakennetta. (Suomen sairaalatekninen yhdistys ry 2014, s.28)

Sairaalakaasuputkiston tulee olla tehtaalla valmiiksi öljystä ja rasvasta puhdistettuja ja tulpattuja SFS-EN 13348 puhtausvaatimukset täyttäviä putkistoja. Putkistomateriaalin tulee olla hapettumatonta ja ruostumatonta, kuten kuparia, kupariseosta tai ruostumatonta terästä. Putkiston mitoituksen lähtökohtana on putkistoon liitettävien kaasunottopisteiden laskettu huippukulutus sekä verkoston käyttöpaine. Käyttöpaineeksi on valittu 4 bar, koska sitä oli käytetty kaikissa lähteissä. Sairaalakaasuputkistoa ei paineilmajärjestelmän tavoin voida mitoittaa sallitun virtausnopeuden perusteella, koska sen käyttö ei huomioi lainkaan verkoston pituutta, mutkia, haaroja, venttiilejä, eikä muita laitteita. Tästä syystä mitoituksessa käytetään painehäviöperusteista mitoitusapua. Sairaalakaasuputkisto mitoitetaan painehäviön perusteella siten, että painehäviö ei ylitä 0,3 bar. Tähän painehäviövaatimukseen on päädytty taulukon 8 eri lähteistä saatujen arvojen perusteella. (Airila 1983, s.97, Department of health 2006, s.22-23, Kemianteollisuus ry 2006, s.25, LVI 62-10092 1988, s.5,9, Oy Aga Ab a, s.3, Oy Aga Ab b, s.3, Oy Aga Ab c, s.8, Talotekniikka RYL 2002, s.213)

Taulukko 8. Verkoston painehäviöiden ja virtausnopeuksien vertailu eri lähteiden välillä (Department of health 2006, s.22, LVI 62-10092 1988, s.5, Oy Aga Ab a, s.3, Oy Aga Ab c, s.8).

	Painehäviö	Virtausnopeus
Lähde	bar	m/s
LVI-RYL sairaalakaasuverkostot	0,3	8
Medical gas pipeline systems	5 % käyttö-paineesta	-
Sairaaloiden kaasujärjestelmät	0,3	8
Lääkkeellisten kaasujen keskusjärjestelmien mitoitus	0,3	8
Valittu	0,3	-

Kaasuvaraston mitoituksen perusteena käytetään arvioitua kulutusta sekä kaasutoimitusten tiheyttä. Kaasuvarasto ei saa aiheuttaa keskeytystä kaasunsyötön normaalitilanteessa eikä verkkovirran katketessa. Kaasuvaraston suunnittelu aloitetaan laskemalla tai arvioimalla kaasun vuosikulutus. Varastoitavan kaasun määrä ilmoitetaan kaasusta riippuen joko m³:nä tai kg:na. Kaasuvaraston valinta tehdään sairaalan laskennallisen vuosikulutuksen perusteella ja siinä on otettava huomioon taloudellinen vaihtoväli, joka vaihtelee happijärjestelmissä 1 - 4 viikkoon. Taulukossa 9 on vertailtu eri lähteistä saatuja kaasuvälikäyttöjen suositeltuja vaihtovälejä. Eri lähteistä saaduista ohjeista on pyritty löytämään keskimääräinen arvo, jonka vuoksi laskennassa on käytetty kaasulähteen vaihtovälinä 2 viikkoa. Kaasuvaraston mitoituksen perusteena on järjestelmään kytkettyjen kaasunotto-pisteiden kaasunkulutus sekä niiden yhtäaikaisuus verkostossa. Sopiva kaasuvälikäyttö osataan valita Aga:n ohjeen mukaan, jossa sanotaan, että kun vuosikulutus on pienempi kuin 3 000 m³ käytetään kaasupulloja. Mikäli kaasun vuosikulutus on 3 000 – 10 000 m³ välillä, valitaan pullopaketit tai maxipullot. Jos vuosikulutus on suurempi kuin 10 000 m³, käytetään nestekaasusäiliötä tai maxipulloja. Kaasuvaraston laskennallisen koon perusteella voidaan arvioida sopiva kaasun toimitusmuoto, kaasukeskuksen suuruus sekä automaattisen kaasukeskuksen tehontarve. Mitoitusmallissa on päädytty siihen, että käytetään pelkästään kaasupulloja ja kaasupullopaketteja, koska nestekaasusäiliöistä ja niiden mitoituksesta ei löytynyt riittävästi tietoa. (Kemianteollisuus ry 2006, s.5, LVI 62-10092 1988, s.5, Oy Aga Ab a, s.6, Rautio 1989, s.4, Oy Aga Ab c, s.1, Talotekniikka RYL 2002, s.209)

Taulukko 9. Kaasuvaraston suositellut vaihtovälit (LVI 62-10092 1988, s.5, Oy Aga Ab a, s.6, Oy Aga Ab c, s.1).

Lähde	Vaihtoväli (vko)
LVI-RYL sairaalakaasuverkostot	1 - 3
Sairaaloiden kaasujärjestelmät	2 - 4
Lääkkeellisten kaasujen keskusjärjestelmien mitoitus	1 - 4
Valittu	2

Yleisesti voidaan todeta, että tästä kyseisestä aiheesta on hyvin vaikeasti saatavissa tietoa ja sitä on vähän. Lisäksi yrityksiin soiteltaessa, kaikilla oli yhteinen näkemys. Yhtenäiset suunnitteluohjeet puuttuivat. Tähän tuli kuitenkin muutos alkuvuonna 2014, kun Suomen sairaalatekniikan yhdistys ry tuotti uuden teoksen ”Sairaalakaasujärjestelmien suunnittelu-, asennus- ja huolto-ohje”. Tätä teosta ennen käytössä oli vain laitetoimittajien ohjeita sekä muutamia SFS-standardeja. SFS-standardit ottavat kuitenkin enemmän kantaa järjestelmien käyttöönottoon ja toimintaan, eivät niinkään varsinaiseen järjestelmien mitoittamiseen. (Suomen sairaalatekninen yhdistys ry 2014, SFS-EN 13348 2008, SFS-EN ISO 7396-1 2007, SFS-EN 737-3 + A1 2000)

5.5.2 Lähtö- ja lopputiedot

Lähtötietoina käyttäjä antaa kaasunottopisteiden lukumäärän ja sairaalatyyppin.

Lopputietoina saadaan virtaama, putkisto, kaasulähde ja kaasulähteiden lukumäärä.

5.5.3 Mitoitus-algoritmi

Hapen mitoitusvirtaama on laskettu potilashuoneiden kaasunottopisteiden mitoituskaavan avulla. Kyseiseen kaavaan päädyttiin, koska sitä oli lähteessä käytetty myös monissa muissa tilanteissa. Tarvittava mitoitusvirtaama saadaan laskettua kaavalla 23 (Department of health 2006, s.26-27)

$$q_{v,mit} = 10 + [(n - 1)6/4], \quad (23)$$

missä $q_{v,mit}$ on mitoitusvirtaama [l/min] ja n on kaasunottopisteiden lukumäärä [kpl]. Kaasunottopisteiden määrittämiseen annetaan ohjeeksi taulukko 10, jonka perusteella voidaan arvioida pisteiden lukumäärä.

Taulukko 10. Kaasunottopisteiden lukumäärän määrittäminen (Department of health 2006, s.15-19).

Tila	Kaasunottopisteiden lukumäärä (kpl / hoitopaikka)
Vuodeosastot, hammashoito	1
Ensiapu, operointi	2
Tehohoito	4

Verkon vastuskertoimien summa saadaan kertomalla kertavastuskerroin kaasunottopisteiden lukumäärällä kaavalla 24

$$\sum f_t = f_t n, \quad (24)$$

missä $\sum f_t$ on kertavastuskertoimien summa [-], f_t on kertavastuskerroin [-] ja n on kaasunottopisteiden lukumäärä [kpl]. Yhdelle pisteelle arvioidaan kertavastuskerroimeksi $f_t = 4$, johon on päädytty arvioimalla kullekin kaasunottopisteelle neljä putkiosaa.

Kertavastusten aiheuttaman vastaavuuspituuden laskentaan on käytetty paineilman mitoituskaavaa. On siis tehty oletus, että happi käyttäytyy lähes paineilman tavoin. Kertavastusten aiheuttama vastaavuuspituus saadaan laskettua alla olevalla kaavalla (Tamrotor kompressorit Oy s.9)

$$L_e = 0,0246 \sum f_t d_{mm}^{1,2}, \quad (25)$$

missä L_e on putkiosista aiheutuva vastaavuuspituus [m], $\sum f_t$ on kertavastuskertoimien summa [-] ja d_{mm} on putken sisähalkaisija [mm].

Runkoputkiston pituus voidaan laskea kaavalla 26

$$L_{runko} = (x_{rakennus} + y_{rakennus} + h_{kerros})1,3n_{kerros}, \quad (26)$$

missä L_{runko} on runkoputkiston pituus [m], $x_{rakennus}$ on rakennuksen pituus [m], $y_{rakennus}$ on rakennuksen leveys [m], h_{kerros} on kerroskorkeus [m] ja n_{kerros} on kerrosten lukumäärä [kpl]. Kaavassa 26 käytettävät rakennuksen mita- ja kerrostiedot saadaan TAKU®-tietomallin muista algoritmimalleista.

KytKentäputkiston pituus voidaan laskea kaavalla 27

$$L_{kytkentä} = 5n, \quad (27)$$

missä $L_{kytkentä}$ on kytkentäputkiston pituus [m] ja n on kaasunottopisteiden lukumäärä [kpl]. KytKentäputkiston kokona laskennassa käytetään aina Cu12:sta, koska tätä kokoa oli käytetty sairaaloiden kaasunottoventtiileissä eri laitevalmistajilla.

Verkoston kokonaispituus kertavastuksilla korjattuna saadaan kaavan 28 avulla

$$L_{kok} = L_{runko} + L_{kytkentä} + L_e, \quad (28)$$

missä L_{kok} on verkoston kokonaispituus [m], L_{runko} on runkoputkiston pituus [m], $L_{kytkentä}$ on kytkentäputkiston pituus [m] ja L_e on putkiosista aiheutuva vastaavuuspituus [m].

Kokonaispainehäviö voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Oy Aga Ab a, s.3)

$$\Delta p_{kok} = \frac{K_8 q_{v,mit}^{1,852} L_{kok}}{d_{mm}^5 p_{abs}}, \quad (29)$$

missä Δp_{kok} on kokonaispainehäviö [Pa], K_8 on hapen kaasuvakio [-], $q_{v,mit}$ on mitoitusvirtaama [m³/h], L_{kok} on verkoston kokonaispituus [m], d_{mm} on putken sisähalkaisija [mm] ja p_{abs} on absoluuttinen käyttöpain [bar]. Käyttöpainena verkoston mitoituksessa on käytetty 4 bar, joka on valittu sen vuoksi, että kirjallisuuden lähteissä oli käytetty tätä painetta. Tähän paineeseen on kuitenkin lisätty 1 bar, koska kaavan paine on annettu absoluuttisena paineena. Absoluuttisen paineena laskennassa käytetään $p_{abs} = 5$ bar ja hapen kaasuvakiona käytetään $K_8 = 36,24$.

Putkikoko valitaan seuraavan ehdon perusteella. Putkiston kokonaispainehäviön tulee olla < 0,3 bar. Putkikokoa testataan siten, että valitaan pienin putkikoko, joka täyttää vaatimuksen. Putkikokojen valintataulukot löytyvät liitteestä 5.

Kaasukeskuksen mitoitusta varten käyttäjältä kysytään sairaalan tyyppi, jonka kategorioksi valitaan taulukon 11 sairaalatyyppit.

Taulukko 11. Kaasuvaraston mitoituksen kertoimet erilaisille sairaalatyypeille (Oy Aga Ab a, s.7).

Sairaalatyyppi	K ₉ (l/km,h)
Yliopistollinen keskussairaala	25
Keskussairaala	15
Aluesairaala, kaupunginsairaala, yksityissairaala	9
Terveyskeskuksen vuodeosasto	3

Tämän jälkeen voidaan laskea kaasun vuosikulutus kaavan 30 avulla (Oy Aga Ab a, s.7)

$$q_{v,a} = \frac{nK_9 8760}{1000}, \quad (30)$$

missä $q_{v,a}$ on kaasun vuosikulutus [m^3/a], n on kaasunottopisteiden lukumäärä [kpl] ja K_9 on hapen vuosikulutuksen mitoituserroin [l/km,h]. Kaavan K_9 -kertoimena käytetään taulukosta 11 valittua arvoa. Valinnan tekee käyttäjä.

Mitoituksessa käytetään joko yhden tai useamman kaasupullon keskusta, tai yhden tai useamman koripaketin keskusta. Mitoituksessa ei ole otettu huomioon LOX-säiliöitä, eikä maxipulloja, koska niiden mitoituksesta ei löytynyt riittävästi tietoa. Keskuksen valintaan on tehty seuraava ehto. Kun vuosikulutus $< 3\,000\,m^3/a$ valitaan kaasupullot ja kun vuosikulutus $\geq 3\,000\,m^3/a$ valitaan (12x50l) koripaketti. Mitoituksessa valitaan mahdollisimman pieni kaasukeskus, mutta kuitenkin niin, että kahdelle viikolle laskettu kulutus täyttyy. Ehto on tehty Agan mitoitusohjeen mukaisesti (Oy Aga Ab a, s.6).

Laskennassa on päädytty kaasuvaraston 2 viikon vaihtoväliin kirjallisuuden perusteella (LVI 62-10092 1988, s.5, Oy Aga Ab a, s.6, Oy Aga Ab c, s.1). Kahden viikon kaasun tarve lasketaan seuraavasti vuosikulutuksen perusteella

$$q_{v,2vko} = \frac{q_{v,a}}{24}, \quad (31)$$

missä $q_{v,2vko}$ on kaasun kulutus kahdessa viikossa [$m^3/2vko$] ja $q_{v,a}$ on kaasun vuosikulutus [m^3/a].

Kaasulähteiden lukumäärä saadaan laskettua kaavan 32 avulla

$$n = \frac{q_{v,2vko}}{V_{kaasulähde}}, \quad (32)$$

missä n on kaasupullojen / koripakettien lukumäärä [kpl], $q_{v,2vko}$ on kaasun kulutus kahdessa viikossa [$m^3/2vko$] ja $V_{kaasulähde}$ on kaasulähteen sisältämä kaasumäärä [m^3]. Kaasukeskusten määrä pyöristetään laskennassa lähimpään kokonaislukuun. Pullojen ja koripakettien määrän arvioinnissa on käytetty taulukon 12 kaasumääriä.

Taulukko 12. Hapen kaasulähteiden sisältämät kaasumäärät tilassa +15 °C, 1013 mbar (Kemiantollisuus ry 2006, s.62).

Kaasulähde	Kaasumäärä (m ³)
1 x 50l pullo	10
12 x 40l koripaketti	96
12 x 50l koripaketti	120
16 x 50l koripaketti	240
18 x 50l koripaketti	270

5.5.4 Mallin testaus ja analysointi

Algoritmimalli testattiin todellisen terveyskeskuksen suunnitelmilla. Rakennuksen mitat olivat seuraavat: pituus $x_{\text{rakennus}} = 50$ m, leveys $y_{\text{rakennus}} = 80$ m ja kerroskorkeus $h_{\text{kerros}} = 4,3$ m. Terveyskeskuksessa oli kerroksia $n_{\text{kerros}} = 4$ ja happipisteitä $n = 93$. Terveyskeskuksen huoneet vaihtelivat hammashoidosta, terveydenhuollon vastaanotto, potilashuone ja toimenpidetiloihin. Vaikka kyseessä oli terveyskeskus, ei voitu kaasukeskuksen mitoituksessa käyttää terveyskeskuksen vuodeosasto valintaa, koska kohteen huoneet ja sitä kautta virtaamat vaihtelivat niin paljon. Tästä syystä hapen vuosikulutuksen mitoitusker-toimeksi on valittu $K_9 = 15$.

Todellisen suunnitelman runkoputkistossa oli kolmea kokoa: 15 mm, 18 mm ja 22 mm. Laskentamalli mitoitti 22 mm runkoputkiston. Todellisen suunnitelman runkoputkiston pituus oli 684 m ja mallin 698 m. Laskentamalli mitoitti 14 m eli noin 2 % enemmän runkoputkistoa. Todellisen suunnitelman kytkentäputkisto oli tehty kahdesta eri koosta 10 mm ja 12 mm. Laskentamalli mitoitti 12 mm putkea. Todellisen mallin kytkentäputkiston pituus oli 454 m ja mallin 465 m. Laskentamalli mitoitti 11 m eli noin 2 % enemmän kytkentäputkistoa. Putkistojen vertailu löytyy taulukosta 13. Todellinen suunnitelma ja malli mitoittivat yhtä suuret kaasukeskukset, joissa kummassakin oli 4 pullopakettia (12 x 50 l).

Taulukko 13. Todellisen hankkeen ja mallin putkiston vertailu.

Putkisto	Lähde	Määrä (m)	Koko (mm)
Runkoputkisto	Malli	698	22
	Todellinen	684	15, 18, 22
KytKentäputkisto	Malli	465	12
	Todellinen	454	10, 12
Kaikki yhteensä	Malli	1163	12, 22
	Todellinen	1138	10, 15, 18, 22

Algoritmimallia testattaessa havaittiin, että hankkeiden virtaamat voivat vaihdella tilatyy-pistä riippuen hyvinkin paljon. Tästä syystä jatkossa algoritmimalliin pitäisi lisätä erilai-sia vaihtoehtoisia virtaamia, joista kokonaisvirtaamat saadaan määriteltä. Lisäksi olisi hyvä lisätä myös sellainen kohta, johon käyttäjä saisi itse syöttää virtaamia, koska tervey-denhuollon laitoksissa voi olla hyvin erilaisia laitteita. Yleisesti ottaen testaus osoitti kui-tenkin, että algoritmimalli toimii hyvin, sillä suurin ero todellisen hankkeen ja mallin vä-lillä oli ± 2 % ja tavoite oli vähintään ± 20 %:n tarkkuus.

5.6 Teollisuuden paineilma

5.6.1 Paineilmajärjestelmän tausta

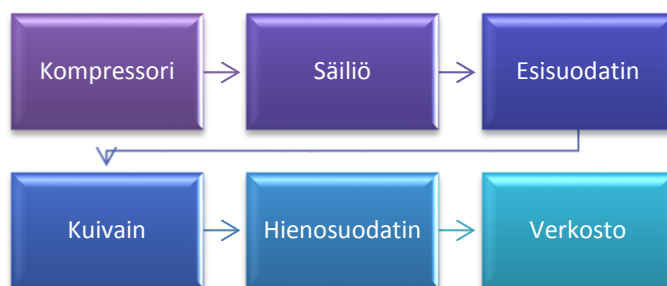
Paineilmassa esiintyy erilaisia epäpuhtauksia, joista haitallisimpia ovat vesi, öljy, pöly, ympäristön kaasut, bakteerit, virukset ja organismit. Paineilman käyttötarkoitus ratkaisee sen, mitä edellä mainituista epäpuhtauksista pitää paineilmasta poistaa. Teollisuudessa vesi, öljy ja pöly ovat haitallisimpia. Mentäessä sairaala-, elintarvike- ja lääketeollisuuteen paineilman puhtausvaatimukset kasvavat, jonka mukaan myös muut epäpuhtaudet tulee pystyä suodattamaan ilmasta. Paineilman puhtausvaatimus on siis pääosin riippuvainen siitä, mihin käyttötarkoitukseen ilmaa käytetään. Sen mukaan myös järjestelmässä tarvittavien suodattimien ja kuivainten määrä sekä tyyppi vaihtelevat. (Airila 1983, s.9)

Paineilman laatuun eli puhtauteen on kansainvälinen ISO-standardi 8573. Standardiin kuuluu 9 erilaista osaa. Ensimmäinen osa määrittelee paineilman laatuvaatimukset ja osissa 2 - 9 määritellään erilaisten epäpuhtauksien testausmenetelmät. ISO-standardi määrittelee epäpuhtauksista hiukkaset, veden ja öljyn. Näistä epäpuhtauksista on esitetty puhtausluokat ja kunkin puhtausluokan vaatimukset taulukossa 14. (Parker 2010, s.2)

Taulukko 14. ISO-standardin 8573-1 puhtaustasot ja niiden vaatimukset (Parker 2010, s.3).

ISO 8573-1:2010 LUOKKA	Kiinteät hiukkaset				Vesi		Öljy
	Hiukkasten maksimimäärä / m³			Massa- pitoisuus mg/m³	Paineen- alainen kastepiste	Neste g/m³	Kokonaisöljy (sumu, neste, höyry)
	0,1 - 0,5 micron	0,5 - 1 micron	1 - 5 micron				mg/m³
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70°C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40°C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20°C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3°C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7°C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10°C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Kuvassa 15 on esitetty paineilmajärjestelmän rakenne. Paineilmajärjestelmä koostuu kompressorista, säiliöstä, esisuodattimesta, kuivaimesta, hienosuodattimesta ja kulutusverkostosta. Järjestelmän komponenttien määrä ja tyyppi voi vaihdella vaativuustason mukaan, mutta peruskomponentit on esitetty kuvassa. (Airila 1983, s.46-47, Ellman 2002, s.43, Hirsivuori 2013)



Kuva 15. Paineilmajärjestelmän rakenne (Ellman 2002, s.43, Hirsivuori 2013).

Kompressoreja käytetään paineilmajärjestelmissä paineen kohottamiseen. Pneumaattisessa siirroksessa käytetään 0,5 - 5 bar:n työpainetta, tavanomaisessa teollisuuspneumatikassa 6 - 10 bar:n työpainetta ja korkeapaineverkoissa 15 - 20 bar:n työpainetta. Teollisuuden paineilmajärjestelmissä käytetään yleisimmin ruuvi- ja mäntäkompressoreja. Ruuvikompressorit ovat näistä vielä yleisempiä, etenkin konepalateollisuudessa. Ruuvi-kompressoreja voidaan käyttää noin 13 bar asti, jonka jälkeen siirrytään mäntäkompressorien käyttöön taloudellisista syistä. Koska painevaatimukset sekä ilmantarve voivat vaihdella hyvinkin paljon, on selvää, että kompressorin valinnalla on suuri merkitys järjestelmän taloudellisuuteen. Paineilmajärjestelmän käyttökustannukset voivat vuosittain olla samaa suuruusluokkaa kuin itse kompressorin hankintahinta. Väärin toteutettujen paineilmajärjestelmien käyttö- ja ylläpitokustannukset saattavat nousta jopa kaksinkertaisiksi oikein toteutettuun verrattuna. Käytännössä tämä tarkoittaisi samaa, kuin ostaisit vuosittain uuden kompressorin. (Airila 1983, s.8,25, Ellman 2002, s.43, Hirsivuori 2013)

Jos paineilman puhtausvaatimuksena on öljytön paineilma, valitaan lähes poikkeuksetta öljytön kompressor. Mikäli öljyä sallitaan paineilmassa, voidaan valita joko öljytön tai öljyvoideltu kompressor ja riittävät suodattimet. Konepajateollisuudessa käytetään tavanomaisesti öljyvoideltuja kompressoreja, koska ilman puhtausvaatimukset eivät ole niin suuret. Usein rakennusten sisäisten puhtausvaatimusten erot voidaan ratkaista erilaisilla suodatusratkaisulla tai mahdollisesti kahdella erilaisella verkostolla. (Airila 1983, s.10)

Paineilmajärjestelmään liitetään usein yksi tai useampia paineilmasäiliöitä, verkoston koosta riippuen. Paineilmasäiliön käyttö on suositeltavaa, koska se toimii paineilmarastona, tasaa kulutushuippuja, vaimentaa paineenvaihteluja, jäähdyttää ilmaa ja erottaa vettä. (Airila 1983, s.79, Ellman 2002, s.61)

Paineilmassa vesi aiheuttaa suurimmat ongelmat ja sen haittavaikutuksen voidaan paineilmajärjestelmistä poistaa ainoastaan kuivaamalla. Taloudellisesti merkittävät ja yleisimmät kuivausmenetelmät ovat: jäähdytys- ja absorptiokuivaus. Paineilman puhtausvaatimus asettaa rajan sille, mitä laitetta kannattaa missäkin tilanteessa käyttää. Karkeasti voidaan sanoa, että jäähdytyskuivainta käytetään normaaleissa tilanteissa, joissa paineilman puhtausvaatimukset eivät ole korkeat ja absorptiokuivaimia vaativammassa olosuhteissa, kuten sairaaloissa. Absorptiokuivainta käytetään eritoten silloin, kun halutaan päästä alhaisiin kastepisteisiin. (Airila 1983, s.10,46,48,55-60, Hirsivuori 2013)

Paineilma-verkoston rakenteet voivat pääsääntöisesti olla (Ellman 2002, s.59)

- suora verkko
- rengasverkko
- suoran ja rengasverkon yhdistelmä.

Suorassa verkossa käytetään vain yhtä runkoputkea, jota pitkin paineilma syötetään käyttöpisteille. Rakenteeltaan suora verkko on yksinkertainen ja se soveltuu pieniin järjestelmiin. Suora verkko soveltuu myös tilanteisiin, joissa ilman tarve on samaa suuruusluokkaa eri pisteissä ja niiden käyttö on satunnaista. Ongelmana suoran verkon toiminnassa on se, että jos verkko joudutaan jostain pisteestä sulkemaan, aiheuttaa se myös koko loppuverkoston toiminnan keskeytymisen. Rengasverkko on suoraa verkkoa monimutkaisempi rakenteeltaan ja sen toteutus on kalliimpaa. Se on kuitenkin käyttökelpoisempi ratkaisu laajempia verkostoja rakennettaessa. Virtaus kulkee verkostossa aina kahta reittiä, jonka vuoksi sen toiminta suoraan verkkoon nähden on varmempaa. Verkoston osia voidaan

rengasverkossa sulkea ilman, että muiden osien toiminta häiriintyy. Rengasverkossa putkikoko voidaan valita pienemmäksi kuin suorassa verkossa. Painetaso pystytään pitämään vakaampana kuin suorassa verkossa ja putkistoa voidaan suuren tilavuuden ansiosta käyttää paineilmasäiliön apuna. Näiden kahden verkoston yhdistelmää käytetään usein järjestelmän laajennusten yhteydessä. (Ellman 2002, s.60)

Paineilman kulutus on tavallisesti vaihtelevaa ja jaksottaista. Tällaisissa vaihtelevissa olosuhteissa virtaaman tarkka määrittely on vaikeaa. Paineilman virratessa putkistossa syntyy sekä kitka- että kertavastusten aiheuttamia painehäviöitä. Painehäviöt kuluttavat aina energiaa, jonka vuoksi ne tulisi rajoittaa mahdollisimman pieneksi. Käytännössä se ei saisi ylittää 0,1 bar:a uudessa verkostossa. Paineilman putkistoa ei voida mitoittaa sallitun virtausnopeuden perusteella, koska sen käyttö ei huomioi lainkaan verkoston pituutta, mutkia, haaroja, venttiilejä, eikä muita laitteita. Tästä syystä mitoituksessa käytetään painehäviöperusteista mitoitusapua. (Airila 1983, s.97)

Putkiston mitoitukseen on kirjallisuudessa annettu seuraavia sallittuja painehäviöitä (Ellman 2002, s.63)

- jakeluputki 0,03 bar
- runkoputki 0,05 bar
- syöttöputki 0,02 bar
- kokonaispainehäviö 0,10 bar.

Myös muissa lähteissä on käytetty kokonaispainehäviönä putkistolle 0,10 bar (Tecalemit, s.18, Airila 1983, s.97, Atlas Copco 1967, s.53).

5.6.2 Lähtö- ja lopputiedot

Lähtötietona käyttäjä valitsee taulukosta 15 käytettävät laitteet sekä niiden määrän. Tämän lisäksi käyttäjä määrittelee puhtausluokkavaatimuksen. Vaihtoehtoisesti lähtötietona käyttäjä voi myös syöttää laitteiden virtaamat ja määrät itse, jonka lisäksi valitaan myös puhtausluokka.

Lopputietona laskentamalli antaa mitoitusvirtaaman, paineilmasäiliön koon ja putkiston.

5.6.3 Mitoitus-algoritmi

Koska kaasujen tiheys ei ole vakio, vaan se riippuu paineesta ja lämpötilasta, tulee ilma- virrat olla ”normikuutioina”, mikä tarkoittaa kaasun tilaa +20 °C ja 101325 Pa (Ellman 2002, s.17). Laskennassa on käytetty yllä mainittuja normaaliolosuhteita. Laskentamallissa on esitetty kaikki kertoimet, jotka normaalisti paineilmamitoituksessa otetaan huomioon, vaikka niitä kaikkia ei laskentaan tarvittaisikaan. Tämä mahdollistaa sen, että mallia voidaan jatkossa laajentaa.

Taulukko 15. Ilmavirtojen valinta (Tamrotor kompressorit Oy s.6).

Laite	Ilmavirta-alue (l/min)	Keskimääräinen virtaama (l/min)
Nitoja, puhalluspistooli, puhdistuspistooli	30 - 100	65
Talttavasara, tasohiomakone	150 - 250	200
Naulain, iskevä ruuvinväänin, niittausvasara	350 - 500	425
Piikkauskone	1400	1400

Käyttäjälle annetaan neljä esimerkkikategoriaa, joista hän voi valita sopivimman taulukon 15 avulla. Kullekin laiteryhmälle on annettu keskimääräiset virtaamat, joita mitoituksessa käytetään yksittäisen laitteen virtaamana. Käyttäjälle annetaan mahdollisuus myös syöttää itse virtaama ja laitteiden lukumäärä. Näistä tiedoista saadaan laitteiden yhteisvirtaama, joka lasketaan kaavalla 33

$$q_v = \frac{q_{v,laite}^n}{60}, \quad (33)$$

missä q_v on laitteiden yhteisvirtaama [l/s], $q_{v,laite}$ on yksittäisen laitteen virtaama [l/min] ja n on laitteiden lukumäärä [kpl]. Pelkällä laitteiden yhteisvirtaamalla ei voida kuitenkaan mitoittaa verkostoa, vaan on otettava huomioon erilaisia kertoimia.

Vaihtelevan käyttöpaineen korjauskerroin K_1 voidaan arvioida taulukon 16 avulla (Tecalemit, s.3).

Taulukko 16. Vaihtelevan käyttöpaineen korjauskertoimen K_1 määrittäminen (Tecalemit, s.3).

Käyttöpaine		Korjauskerroin
kPa	bar	K_1
500	5	0,80
600	6	1,00
700	7	1,20
800	8	1,40

Korjauskerrointa K_1 ei oteta laskennassa huomioon, koska käyttöpaineena mallissa käytetään 6 bar:a, jonka korjauskerroin on 1.

Korjauskerroin kuluneille koneille on $K_2 = 1,05$. Laskentamallin tapaus on uudiskohde, jolloin korjauskerrointa K_2 ei tarvitse huomioida.

Koneiden hyväksikäyttöaste arvioidaan korjauskertoimella K_3 , jonka arvot löytyvät taulukosta 17 (Tecalemit, s.4).

Taulukko 17. Hyväksikäyttöasteen korjauskertoimet K_3 (Tecalemit, s.4).

Paineilmatyökalu	Hyväksikäyttöaste K_3
Mutterikierrin	0,10 - 0,25
Ruuvikierrin	0,10 - 0,20
Porakone	0,15 - 0,30
Kierteityskone	0,15 - 0,25
Hiomakone	0,20 - 0,40
Talttavasara	0,10 - 0,40
Niittausvasara	0,05 - 0,30
Puhallussuutin	0,05 - 0,10
Nosturi	0,05 - 0,10

Koneiden hyväksikäyttöastetta ei laskennassa oteta huomioon, koska käyttäjällä on mahdollisuus syöttää laite. Tällöin hyväksikäyttöasteen arvioiminen vaikeutuu.

Yhtäaikaisuuskerroin otetaan huomioon sen mukaan, montako laitetta käyttäjä ilmoittaa verkostoon tulevan. Yhtäaikaisuuden korjauskertoimet on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Yhtäaikaisuuden korjauskertoimen K_4 määrittäminen (Tecalemit, s.3).

Laitteiden lukumäärä (kpl)	Yhtäaikaisuuskerroin K_4
2	0,95
4	0,9
6	0,85
8 tai enemmän	0,8

Vuotolisän korjauskerroin K_5 arvioidaan seuraavasti (Tecalemit, s.4). Paineilman vuotohäviöt otetaan huomioon lisäämällä järjestelmän ilmavirtaa 10 %:lla. Tämän perusteella laskennassa käytetään kerrointa $K_5 = 1,1$. Tässä otetaan huomioon mm. paineilmapisteiden mahdolliset vuodot.

Laajennustarve K_6 arvioidaan seuraavasti (Tecalemit, s.4). Laajennustarpeeksi hankesuunnitteluvaiheessa arvioidaan 20 %, jolloin korjauskertoimeksi asetetaan $K_6 = 1,2$.

Paineilmaverkostossa voi olla muuttuva- ja jatkuvatoimisia laitteita. Muuttuvatoimiset laitteet ovat toiminnassa hetkittäin ja jatkuvatoimiset koko ajan. Muuttuva paineilmapista lasketaan kaavan 34 avulla (Tecalemit, s.6)

$$q_{v, \text{muuttuva}} = q_v K_4 K_5 K_6, \quad (34)$$

missä $q_{v, \text{muuttuva}}$ on muuttuva paineilmapista [l/s], q_v on laitteiden yhteisvirtaama [l/s], K_4 on koneiden yhtäaikaisuuden korjauskerroin [-], K_5 on vuodon korjauskerroin [-] ja K_6 on laajennustarpeen korjauskerroin [-].

Jos järjestelmässä on laitteita, jotka ovat jatkuvatoimisia, tulee niiden paineilmantarve arvioida erikseen. Jatkuva paineilmavirta lasketaan kaavan 35 avulla (Tecalemit, s.6)

$$q_{v,jatkuva} = q_v K_5 K_6, \quad (35)$$

missä $q_{v,jatkuva}$ on jatkuva paineilmavirta [l/s], q_v on laitteiden yhteisvirtaama [l/s], K_5 on vuodon korjauskerroin [-] ja K_6 on laajennustarpeen korjauskerroin [-].

Tämän jälkeen muuttuva ja jatkuva paineilmavirta lasketaan yhteen, jolloin saadaan mitoittava paineilmavirta kaavan 36 avulla (Tecalemit, s.6)

$$q_{v,mit} = q_{v,muuttuva} + q_{v,jatkuva}, \quad (36)$$

missä $q_{v,mit}$ on mitoittava paineilmavirta [l/s], $q_{v,muuttuva}$ on muuttuva paineilmavirta [l/s] ja $q_{v,jatkuva}$ on jatkuva paineilmavirta [l/s].

Käyttäjältä kysyttävät puhtausluokkavaatimukset ovat seuraavat: normaali ja vaativa. Näiden valintojen perusteella tehdään alla esitetyt laitevalinnat. Ainoan poikkeuksen tekee vaativissa kohteissa absorptiokuivain, jonka mitoituksessa pitää mitoittava ilmavirta kertoa 1,2. Tämä johtuu siitä, että noin 20 % kokonaisilmavirrasta menee toisen säiliön elvyttämiseen paineilmaelvytteisissä kuivaimissa (Hirsivuori 2013). Normaali ja vaativa luokkien laitteiden valinnassa on käytetty apuna laitevalmistajan antamia ohjeita (Parker 2010, s.7).

Normaali (konetyöpajat, tavalliset teollisuuden kohteet, paineilmatyökalut, yleisinstrumentointi, korjaamot, huoltamot) valinnalla järjestelmään tulevat seuraavat laitteet

- taajuusmuuttajakäyttöinen öljyvoideltu ruuvikompressori
- paineilmasäiliö
- vedenerotin
- pisartumissuodatin karkea 1µm
- jäähdytyskuivain
- pisartumissuodatin hieno 0,01µm
- pölynsuodatin hieno 0,01µm.

Vaativa (sairaalat, lääketiede, lääketeollisuus, muistilaitteiden valmistus, elintarviketeollisuus, meijerit, panimot, prosessiteollisuus -> herkäät laitteet) valinnalla järjestelmään tulevat seuraavat laitteet

- taajuusmuuttajakäyttöinen öljytön ruuvikompressori
- paineilmasäiliö
- vedenerotin
- pisartumissuodatin karkea 1µm
- pisartumissuodatin hieno 0,01µm
- absorptiokuivain (paineilmaelvytteinen)
- pölynsuodatin karkea 1µm
- pölynsuodatin hieno 0,01µm.

Taajuusmuuttajakäyttöinen kompressori on aina hintavampi, jonka vuoksi varataan sellainen aina jokaisessa mitoituksessa. Tällöin suunnitteluvaiheessa voidaan laatia parempi arvio kompressorin tyypistä. Taajuusmuuttajakäyttöisen kompressorin lisäksi järjestelmään mitoitetaan aina paineilmasäiliö. Periaatteessa paineilmasäiliötä ei tarvita, jos käy-

tössä on taajuusmuuttajakäyttöinen kompressorikoneikko. Painesäiliöllä voidaan kuitenkin poistaa vettä noin 15 %, paineilma jäähtyy säiliössä ja se myös tasaa verkoston painetta (Airila 1983, s.79, Ellman 2002, s.61). Näihin syihin vedoten, jokaiseen järjestelmään mitoitetaan paineilmasäiliö.

Paineilmasäiliön koko voidaan mitoittaa seuraavasti kaavan 37 avulla (Airila 1983, s.112)

$$V_{\text{säiliö}} = \frac{0,9q_{v,\text{mit}}K_7}{\Delta p f}, \quad (37)$$

missä $V_{\text{säiliö}}$ on paineilmasäiliön tilavuus [m^3], $q_{v,\text{mit}}$ on mitoittava paineilmapvirta [l/s], K_7 on paineilmasäiliön tilavuuden korjauskertoimen [-], Δp on paineilmapuhtaus paine-ero [bar] ja f on sallittu käyntitiheys [$1/\text{h}$]. Laskennassa käytetään korjauskertoimen $K_7 = 1$, paine-eron $\Delta p = 1$ ja käyntitiheydenä $f = 50$. Paine-eron ja sallitun käyntitiheyden arvoihin on käytetty laitevalmistajan ohjeita. Paine-ero (1 bar) tulee putkiston sekä laitteiden painehäviöstä ja sallittuna käyntitiheydenä voidaan maksimissaan käyttää 60 $1/\text{h}$ (Hirsi-vuori 2013).

Verkoston rakenteeksi on valittu rengasverkko, koska ei tiedetä millainen todellinen järjestelmä on ja miten se sijoittuu. Virtauksia ei ole kuitenkaan pienennetty, jotta suunnitteluvaiheessa voidaan tehdä todellinen tarpeen arviointi. Runkoputkiston pituus lasketaan kaavan 38 avulla

$$L_{\text{runko}} = 2x_{\text{rakennus}} + 2y_{\text{rakennus}}, \quad (38)$$

missä L_{runko} on runkoputkiston pituus [m], x_{rakennus} on rakennuksen pituus [m] ja y_{rakennus} on rakennuksen leveys [m]. Kaavoissa 38 ja 39 käytettävät rakennuksen mita- ja kerrostiedot saadaan TAKU[®]-tietomallin muista algoritmimalleista.

Kytkeäputkiston pituus lasketaan kaavan 39 avulla

$$L_{\text{kytkentä}} = (h_{\text{kerros}} - 1,5)n, \quad (39)$$

missä $L_{\text{kytkentä}}$ on kytkeäputkiston pituus [m], h_{kerros} on kerroskorkeus [m] ja n on paineilmapisteiden lukumäärä [kpl]. Kerroskorkeudesta on kaavassa vähennetty 1,5m, koska on oletettu paineilmalaitteiden sijaitsevan tällä korkeudella.

Verkoston pituuden selvittämisen jälkeen voidaan laskea verkoston painehäviö. Tyypillisesti verkoston käyttöpainetta on 6 bar:a. Yhdelle pisteelle arvioidaan kertavastuskertoimeksi 4, joka on valittu sillä oletuksella, että jokainen piste vaatii noin neljä putkiosaa. Laitteiston vastuskertoimien summa saadaan kertomalla vastuskertoimen paineilmalaitteiden lukumäärällä kaavalla 24. Kertavastusten aiheuttama vastaavuuspituus saadaan laskettua kaavan 25 avulla. Verkoston kokonaispituus kertavastuksilla korjattuna saadaan kaavan 28 avulla.

Kokonaispainehäviö voidaan laskea teräsputkille seuraavasti (Ellman 2002, s.38)

$$\Delta p_{\text{kok}} = \frac{\lambda L_{\text{kok}} q_{v,\text{mit}}^2}{d_{\text{mm}}^5 p_m}, \quad (40)$$

missä Δp_{kok} on kokonaispainehäviö [bar], λ on kitkakerroin [-], L_{kok} on putkiston kokonaispituus [m], $q_{v,\text{mit}}$ on mitoittava paineilmapvirta [l/s], d_{mm} on putken sisähalkaisija [mm]

ja p_m on keskimääräinen absoluuttinen paine putkessa [bar]. Kitkakertoimena käytetään teräsputkille osoitettua kerrointa $\lambda = 500$ ja absoluuttisena paineena laskennassa käytetään $p_m = 7$ bar (Ellman 2002, s.38).

Putkiston koko saadaan valittua siten, että valitaan mahdollisimman pieni putkikoko sillä ehdolla, että putkiston kokonaispainehäviö jää alle 0,1 bar (Ellman 2002, s.63). Liitteessä 5 on esitetty teräsputkien sisähalkaisijat, joita käytetään putkikoon valintaan. Kun runkolinjan koon valinta on tehty, voidaan kytkentä koko laskea runkolinjojen tavoin siten, että mitoitusvirtaama jaetaan laitteiden lukumäärällä.

5.6.4 Mallin testaus ja analysointi

Algoritmimalli testattiin todellisen ammattiopiston suunnitelmilla. Rakennuksen mitat olivat seuraavat: pituus $x_{\text{rakennus}} = 115$ m, leveys $y_{\text{rakennus}} = 67$ m ja korkeus $h = 6,9$ m. Ammattiopistossa oli 16 paineilmapistettä, jotka olivat erilaisia puutyökaluja. Verkostossa oli siis pelkästään muuttuvatoimisia laitteita. Hankkeesta ei ollut tiedossa pisteille mitoitettua virtaamaa, vaan kokonaisvirtaama, joka jaettiin pisteille. Kohteen verkoston kokonaisvirtaama oli 12 l/s ja paine 8 bar. Verkostossa oli kompressorin lisäksi 200 l:n paineilmasäiliö, automaattinen vedenpoistin sekä yksi suodatin. Kun verrataan lähtökohteisesti todellisen verkoston komponenttien lukumäärää algoritmimallin laskemaan lukumäärään, havaitaan, että todellisessa hankkeessa on käytetty huomattavasti vähemmän ilmkäsittelylaitteita kuin algoritmimallissa. Algoritmimallissa päädyttiin kuitenkin siihen, että mallin on tarkoitus vastata mahdollisimman moneen tarpeeseen. Tästä syystä on parempi, että malli laskee enemmän suodattimia kuin liian vähän.

Kun algoritmimalliin syötettiin lähtötiedoiksi 16 paineilmapistettä ja virtaamaksi kullekin laitteelle 43 l/min, saatiin verkoston mitoitusvirtaamaksi 12 l/s. Näillä lähtötiedoilla saatiin laskentamallista runkoputkiston kooksi 32 mm ja putkiston pituudeksi 364 m. Algoritmimalli laskee 33 m eli 10 % enemmän runkoputkistoa. Runkoputkiston putkikoko on laskentamallissa 2 putkikokoa pienempi kuin todellisessa hankkeessa. Tähän voi vaikuttaa se, että kohteen suunnittelijaa haastateltaessa saatiin selville, että kohteen putkistoa ei ollut mitoitettu tarkkaan, koska verkostosta oli pyritty rakentamaan vanhan kohteen kaltaisen. Putkiston vertailu löytyy taulukosta 19.

Taulukko 19. Todellisen hankkeen ja mallin putkiston vertailu.

Putkisto	Lähde	Määrä (m)	Koko (mm)
Runkoputkisto	Malli	364	32
	Todellinen	331	54
KytKentäputkisto	Malli	86	15
	Todellinen	84	15, 22
Kaikki yhteensä	Malli	450	15, 32
	Todellinen	415	15, 22, 54

KytKentäputkistona todellisessa hankkeessa oli kahta kokoa sekä 15 mm että 22 mm. Laskentamalli laskee vain 15 mm putkea. Laskentamalli mitoitti 2 m eli 2 % enemmän kytKentäputkistoa kuin todellinen hanke. Putkiston pituus oli siis todella lähellä todellista hanketta. Algoritmimalli laskee paineilmasäiliön 20 l eli 10 % suuremmaksi, kuin todellisessa hankkeessa. Todellisen hankkeen paineilmasäiliö oli 200 l ja malli mitoitti 220 l säiliön.

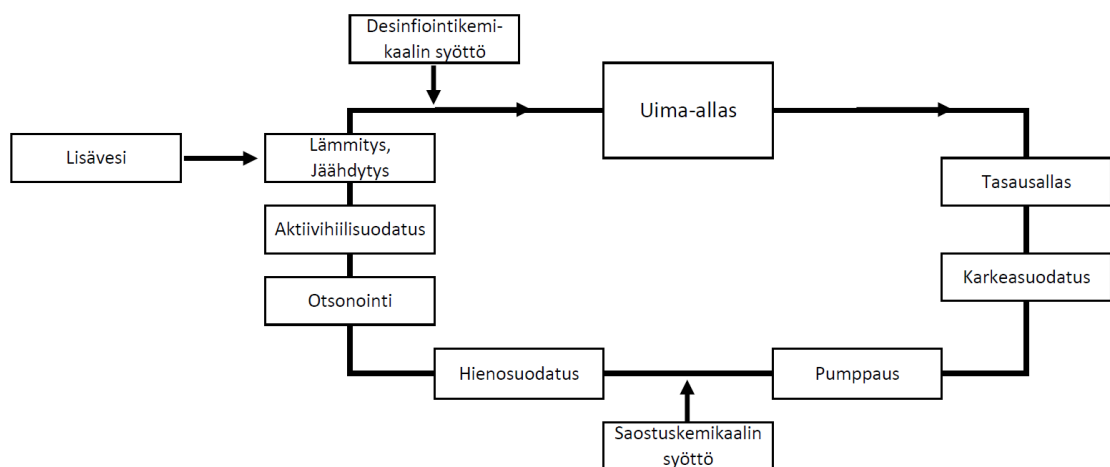
Laskentamalli onnistui mallintamaan paineilmaverkoston melko tarkasti todelliseen hankkeeseen verrattuna. Runkoputkisto oli ainoa, jossa oli putkikoon osalta jonkin verran eroa todelliseen hankkeeseen verrattuna ja tämäkin saattaa johtua siitä, että todellista hanketta ei ollut mitoitettu tarkasti. Laskentamallilla onnistuttiin mallintamaan paineilmaverkosto riittävän tarkasti, sillä erot todellisen hankkeen ja mallin välillä vaihtelivat $\pm 2 - 10$ %:n välillä. Näin ollen jäätin tavoitteen ± 20 % alle. Laskentamalli soveltuu myös puh-
tausluokaltaan vaativampien paineilmaverkostojen mallintamiseen.

5.7 Uima-altaiden vedenkäsittely

5.7.1 Uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmän tausta

Uima-altaiden vedenkäsittelyn tarkoituksena on pitää veden laatu hyvänä ja turvata uimareiden terveys. Uima-altaiden vedenkäsittelyllä allasveden laatua ylläpidetään erottamalla siitä mekaanisesti tai kemiallisesti epäpuhtauksia, laimentamalla epäpuhtauksia korvausvedellä, tuhoamalla mikro-organismeja desinfioimalla, säätelämällä veden pH-arvoa, kierrättämällä vettä altaiden ja vedenpuhdistuslaitteiden välillä sekä lämmittämällä ja mahdollisesti jäähdyttämällä vettä. Pääperiaatteena laskennassa on, että jokaista uimaria kohden vettä puhdistetaan vähintään 2 m³, kuorimituksesta riippumatta. (Hämäläinen 1995, s.31, Kaiko Oy 1988, s.243, LVI 22-10386 2005, s.1-2, RT 97-10839 2005, s.31, Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, s.7, Talotekniikka RYL 2002, s.283)

Uimahalli- ja kylpyläteknisen yhdistyksen mukaan Suomessa on 218 uimahallia tai kylpylää, johon lasketaan mukaan kaikki vähintään 25 m pitkät altaat. Yhdistyksen rekisterin mukaan 75 % järjestelmistä käyttää painehiekkasuodatusta ja 88 % järjestelmistä aktiivihiihluodatus. Lisäsuodatusmenetelmänä järjestelmissä käytetään vielä yllä mainittujen menetelmien lisäksi 32 %:ssa UV-suodatusta ja 26 %:ssa otsonointia. Luvuista voidaan havaita, että UV-suodatusta ja otsonointia käytetään lähes samana verran. Lisäksi yleisesti näistä menetelmistä voidaan havaita myös se, että useita suodatusmenetelmiä käytetään rinnakkain. (Uimahalli- ja kylpylätekninen yhdistys ry 2013)



Kuva 16. Vedenkäsittelyjärjestelmän prosessikaavio.

Kuvassa 16 on esitetty vedenkäsittelyjärjestelmän prosessikaavio. Vedenkäsittelyjärjestelmä voi kohteesta riippuen koostua seuraavista osista: tasausallas, karkeasuodatus, pumppaus, saostuskemikaalien syöttö, hienosuodatus, otsonointi, aktiivihiihluodatus, lämmitys / jäähdytys, lisäveden syöttö sekä desinfiointikemikaalin syöttö. Järjestelmän komponentit sekä niiden määrä vaihtelee sen mukaan, kuinka korkeaa veden laatua halutaan tavoitella. Edellä kuvatussa prosessissa on tähdätty mahdollisimman korkeaan veden laatuun.

Uima-altaista vesi johdetaan loiskekourujen kautta tasausaltaaseen, joka voi olla allas-kohtainen tai vaihtoehtoisesti yhteinen, mikäli altaiden lämpötilatasot ovat samat. Tasausaltaan koko määräytyy syrjäytys-, loiske- ja huuhteluvesimäärän perusteella. Suodattimien huuhteluvesi voidaan ottaa tasausaltaasta tai erillisestä huuhteluvesialtaasta. Erilliseen huuhteluvesialtaaseen voidaan päätyä, mikäli virtaamat ovat suuria. Algoritmimal- lissa huuhteluvesi otetaan tasausaltaista. (Hämäläinen 1995, s.38-39,40,45, LVI 22-10386 2005, s.3, RT 97-10839 2005, s.32, Talotekniikka RYL 2002, s.287)

Uima-altaiden veden suodatus tapahtuu normaalisti kahdessa tai useammassa vaiheessa. Tällöin suodatusjärjestelmään kuuluu ainakin karkeasuodatus ja hienosuodatus. Esi-suodatus toteutetaan yleensä karkeasuodattimilla. Näiden tarkoituksena on poistaa ve- destä karkeimmat partikkelit (hiukset, lehdet, hiekka, korut), jotta laitteet pysyisivät mah- dollisimman pitkään toimintakuntoisina. Usein karkeasuodattimet sijoitetaan tasausaltaan ja pumpun väliin tai ennen tasausallasta. Karkeasuodattimet mitoitetaan normaalisti alle 100 m/h virtausnopeudelle. (Hämäläinen 1995, s.43,45, RT 97-10839 2005, s.32, Talo- tekniikka RYL 2002, s.287-288)

Veden pumppaus toteutetaan yleensä tasausaltaan jälkeen kahdella tai useammalla pum- pulla käyttövarmuuden lisäämiseksi. Tällöin toisen pumpun vikaantuessa tai uimahallin ollessa suljettuna, voidaan järjestelmää käyttää pienemmillä virtaamilla. Pienempien yk- sittäisten altaiden veden kierrätykseen riittää normaalisti yksi pumppu. Tämä on algo- ritmimallissa otettu huomioon siten, että julkisiin uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestel- miin valitaan kaksi pumppua ja yksityisiin uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmiin yksi pumppu. (Hämäläinen 1995, s.40, LVI 22-10386 2005, s.3-4, RT 97-10839 2005, s.32)

Suodatusta voidaan tehostaa lisäämällä veteen saostavia aineita, kuten alumiinisuoloja ja liuoksia, joiden avulla suodatustehoa saadaan parannettua. Saostuskemikaalin avulla ve- den epäpuhtauksien partikkelikokoa saadaan suuremmaksi, jolloin epäpuhtaudet on hel- pompi kerätä erilaisten suodattimien avulla. Saostuskemikaaleina voidaan käyttää alumii- nisulfaatti- ja polyalumiinikloridiliuoksia. Saostuskemikaaliksi mitoituksissa on valittu polyalumiinikloridiliuokset, koska tätä oli käytetty todellisessa hankkeessa. (Hämäläinen 1995, s.43,53, RT 97-10839 2005, s.32)

Karkeasuodattimien lisäksi verkostossa on usein hienompia suodattimia, kuten avo-, paine- tai monikerrossuodattimia. Tavallisesti hienosuodattimina käytetään hiekka- suodattimia, mutta myös monikerrossuodattimien käyttö on lisääntynyt. Hienompia suo- dattimia on verkostossa yleensä vähintään kaksi, jotta huuhtelujen ja huoltojen aikana järjestelmää voidaan käyttää osavirtaamilla. Suodatintyyppinä on kaksi: avosuodattimet ja painesuodattimet. Avosuodattimet ovat ennen olleet varsin yleisiä ja niitä käytetään edelleen suurissa laitoksissa. Avosuodatin on neliskulmainen betoniallas, jonka pohjalla on suodatinkerrokset. Avosuodattimet ovat helppohjoitaisia, toimintavarmoja ja pitkäikäi- siä. Ongelmana niiden kohdalla on se, että suodattimen huuhtelu vaatii suhteellisen paljon vettä ja laite itsessään paljon tilaa. Painesuodattimet ovat suljettuja astioita, jotka on val- mistettu teräslevystä tai lasikuidusta. Usein suodatusmateriaalina käytetään hiekkaa. Pai- nesuodattimen huuhtelu on helpompi suorittaa, mutta laitteiston automatisointi on kal- lista. Painesuodattimet vievät myös huomattavasti vähemmän tilaa, kuin avosuodattimet. Algoritmimalliin on valittu painehiekkasuodattimet, koska ne vievät vähemmän tilaa ja niitä oli käytetty 88 %:ssa järjestelmistä Uimahalli- ja kylpyläteknisen yhdistyksen mu- kaan. (Hämäläinen 1995, s.48-50,53, Kaiko Oy 1988, s.247,251, LVI 22-10386 2005, s.6, RT 97-10839 2005, s.32, Talotekniikka RYL 2002, s.288, Uimahalli- ja kylpylätekninen yhdistys ry 2013)

Otsoni on klooria voimakkaampi hapetin, jota käytetään orgaanisten epäpuhtauksien poistoon, hapetukseen ja desinfiointiin. Otsonointia käytettäessä on varmistuttava siitä, että jäännösotsonia ei ole vedessä ennen kuin se johdetaan takaisin altaaseen. Tämä pystytään takaamaan riittävän tehokkaalla suodattimella, joka voi olla mm. aktiivihiihliisuodattin. Otsoni on klooria tehokkaampaa, koska se tuhoaa niitä eliöitä, joita kloori ei pysty tuhoamaan. Otsonin vaikutusaika on kuitenkin lyhyt, jonka vuoksi sitä ei voida käyttää uima-altaiden vesien ainoana desinfiointikeinona. Otsonointia käytettäessä epäpuhtauksia voidaan vähentää jo itse puhdistuslaitoksessa, jolloin uima-altaiden klooraamista on pystytty vähentämään. Otsonia annostellaan Hämmäläisen mukaan veteen $0,5 - 1,2 \text{ g/m}^3$. LVI-ohjekortissa annetaan ohje, jonka mukaan otsonia syötetään uintialtaissa $0,8 \text{ g/m}^3$ ja lämminvesikierroissa vähintään $1,2 \text{ g/m}^3$. Talotekniikka RYL:n mukaan otsonia syötetään $0,8 - 1 \text{ g/m}^3$. Sekä Hämmäläisen että LVI-ohjekortin mukaan normaaleissa lämpötiloissa kierrätysvirtaamasta käsitellään pääosin vain osa (30 - 50 %). (Hämmäläinen 1995, s.64-65, LVI 22-10386 2005, s.9, Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, s.20-21, Talotekniikka RYL 2002, s.294)

Aktiivihiihliisuodattimia käytetään orgaanisten epäpuhtauksien vähentämiseen sekä otsonointijärjestelmän jäännösotsonin poistoon. Aktiivihiihliisuodattimet mitoitetaan usein osavirtaamille ja niiden mitoitusnopeudet vaihtelevat 5 - 25 m/h. Osavirtaaman tulee olla vähintään 15 % tai vähintään sen verran, että koko käsittelykierron vesi kulkee läpi kerran kahdessa vuorokaudessa. (Hämmäläinen 1995, s.53, LVI 22-10386 2005, s.9, Talotekniikka RYL 2002, s.289)

Vesihydro Oy:n vuosina 1995 – 1996 suorittamassa kartoituksessa otsonointi osoittautui tehokkaimmaksi puhdistusmenetelmäksi. Se vastasi kaikkiin korkeimpiinkin laatuvaatimuksiin, riippumatta siitä, miten otsonointia edeltävä saostus ja suodatus oli toteutettu. Tutkimuksen mukaan pelkällä saostuksella ja hiekkasuodatuksella ei korkeisiin laatuvaatimuksiin päästy. Algoritmimallissa on Vesihydro Oy:n kartoitukseen perustuen valittu, julkisiin uima-altaisiin lisäsuodatusmenetelmäksi otsonointi sekä aktiivihiihliisuodatus. Keskusteltaessa laitetoimittajien sekä vedenkäsittelyjärjestelmien suunnittelijoiden kanssa, saatiin kuva, että UV-menetelmän suosio on kasvanut viime vuosina. Heidän mukaansa on kuitenkin vaikea sanoa, kumpi on parempi menetelmä otsonointi vai UV-menetelmä, sillä usein menetelmä valitaan aikaisempiin kokemuksiin perustuen. (Ala-Peijari 2014, Vesihydro Oy 2002, s.3,28,35)

Jotta uimaveden lämpötilaa voidaan pitää riittävällä tasolla, tarvitaan uimaveden lämmitämiseen lämmönsiirrin. Uimaveden lämmönsiirrintä käytetään vedenkäsittelyjärjestelmissä kahteen tarkoitukseen. Lämmönsiirtimiä tarvitaan uimaveden lämpötilan ylös nostoon altaan täyttövaiheessa sekä ylläpitolämmitykseen alaiden normaalissa käyttötilanteessa. Allasveden ylöslämmityksen tehontarve on vuorokauden lämmitysajalla normaali uima-altaille noin kolminkertainen ylläpitotehontarpeeseen verrattuna. Allasvesien lämmönsiirtimien tehontarpeen mitoituksessa on otettava huomioon ylöslämmityksen tehontarve, koska se on korkeampi. (LVI 06-10451 2009, s.13, LVI 22-10386 2005, s.5)

Uima-altaaseen on jatkuvasti lisättävä korvausvettä, koska haihtumisen, ylivuodon, ihmisten mukana ja huuhtelusta johtuen vettä poistuu jatkuvasti kierrosta. Tavallisesti Suomalaiset uimahallit ottavat lisävetensä kunnan vesijohtoverkosta, jolloin lisävesi ei aiheuta ongelmia vedenkäsittelyjärjestelmään. Lisäveden määrä määritellään aina käyttötarkoituksen mukaan, mutta suuntaa antavana arvona voidaan pitää 30 l/h/d. (Hämmäläinen 1995, s.26,54, LVI 22-10386 2005, s.4, RT 97-10839 2005, s.32, Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, s.20)

Veteen lisätään hygienian turvaamiseksi desinfiointiaineita, jotta vedessä ei esiintyisi sairauksia aiheuttavia bakteereja. Vedenkäsittelyjärjestelmissä on jokaisella altaalla oma kloorinsyöttölaitteensa, jolla voidaan säädellä klooripitoisuuksia. Saksalaisen DIN 19643-standardin mukaan desinfiointiin voidaan käyttää kloorikaasua, kalsiumhypokloriittia sekä natriumhypokloriittia. Algoritmimalliin on valittu natriumhypokloriitti, koska sitä on käytetty todellisessa hankkeessa sekä se on annettu yhdeksi vaihtoehdoksi saksalaisessa standardissa. Kaiko vesikirja antaa ohjeen natriumhypokloriitin mitoittamiseen, jonka mukaan 5 %:sta liuosta syötetään veteen noin $0,03 - 0,05 \text{ l/m}^3$. (Hämäläinen 1995, s.63, Kaiko Oy 1988, s.277, LVI 22-10386 2005, s.12, ProMinent Finland Oy 2014, Talotekniikka RYL 2002, s.294)

Sitovia normeja, koskien uimahallien ja kylpylöiden vedenkäsittelylaitteistojen suunnittelua ja rakentamista, yleismääräysten ja ohjeiden lisäksi ei juurikaan ole olemassa. Lähes kaikki ohjeistus löytyy LVI- ja RT-ohjekorteista sekä muutamista kirjallisista teoksista. Uimahallien vedenkäsittelyjärjestelmiin kohdistuu suuria kehitys- ja tutkimustarpeita, sillä monet eteen tulevat ongelmat saatetaan ratkaista tällä hetkellä asiantuntijan tiedon ja kokemuksen perusteella. Tämä havaittiin myös keskusteluissa vedenkäsittelyjärjestelmien suunnittelijoiden ja laitevalmistajien kanssa. Usein kerrottiin suodatusmenetelmän valinnan perustuvan aikaisempiin kokemuksiin. (Ala-Peijari 2014, Hämäläinen 1995, s.9,11,19, LVI 22-10386 2005, s.2)

Vedenkäsittelyjärjestelmiä voidaan yhdistää uimahalleissa ja kylpylöissä silloin, kun altainen lämpötilatasot ovat samat. Jos vedenkäsittelyjärjestelmiä yhdistetään, saadaan kustannussäästöjä aikaiseksi. Toisaalta tämä menettely myös sitoo toimintaa, koska tällöin myöhäisemmässä vaiheessa altainen lämpötilatasoja ei voida helposti muuttaa. Tästä johtuen algoritmimalli on tehty periaatteella, jossa jokaiselle uima-altaalle mitoitetetaan oma vedenkäsittelyjärjestelmä, koska suunnitelmia ei ole vielä tässä vaiheessa tiedossa. (LVI 22-10386 2005, s.4, RT 97-10839 2005, s.32, Talotekniikka RYL 2002, s.284)

Vettä kierrätetään altaissa sekoitusperiaatteella, joka tarkoittaa sitä, että altaan koko vesimassa pyritään sekoittamaan mahdollisimman nopeasti. Näin veden laadun tasaisuus ja vaihtuvuus voidaan taata koko allasalueella. Sekoitus toteutetaan pääsääntöisesti kahdella tavalla: pohjasyöttönä tai ns. hannover syöttönä. Hannover syötössä vesi johdetaan altaaseen toisesta päädyistä ja poistetaan toisesta. Tätä veden kierrätystapaa käytetään lähinnä suorakaiteen muotoisissa altaissa. Pohjasyötössä taas vesi johdetaan altaaseen pohjasta ja poistetaan altaan reunoilla olevien loiskekourujen kautta. Pohjasyöttöä käytetään usein epäsäännöllisen muotoisissa ja suurissa altaissa. Useimmiten paras veden sekoittuvuus saadaan aikaiseksi jälkimmäisellä syöttötavalla. Loiskekouruja on altaissa vähintään altaan pidemmällä sivuilla, mutta epäsäännöllisen muotoisissa altaissa on loiskekouruja oltava koko matkalla. Pohjasyötön suutintihetytenä käytetään 1 suutin / 8m^2 tai vaihtoehtoisesti 1 suutin / $5 - 10 \text{ m}^3/\text{h}$. Usein virtaamaperusteista mitoittamista käytetäänkin isommissa altaissa. Suuttimissa veden nopeus tulee olla välillä $1 - 1,5 \text{ m/s}$. Algoritmimalli on perustettu pohjasyöttöön, koska altaan muotoa ei välttämättä tiedetä. (Hämäläinen 1995, s.21,26,34-36,54, LVI 22-10386 2005, s.2-4, RT 97-10839 2005, s.32, Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, s.20)

Vedenkäsittelyjärjestelmän putkistosuunnittelussa pitäisi pyrkiä järkeviin materiaalive-lintoihin, jotta tarpeettoman kalliita materiaaleja ei käytetä turhaan. Vedenkäsittelyjärjes-telmien putkiston materiaaleina käytetään tavallisesti muovia tai terästä. Muoviputket ovat PE- tai PVC-muovia ja teräspuutket haponkestävää terästä. Edellä mainittuihin perus-teisiin vedoten algoritmimalliin on valittu putkistomateriaaliksi muovi. (Hämäläinen 1995, s.79, Kaiko Oy 1988, s.268-269, Talotekniikka RYL 2002, s.289)

Uima-altaiden vedenkäsittelyn kierrätysvirtaama on mahdollista mitoittaa kolmella eri ta-valla: uima-altaan kokoon perustuen, viipymään perustuen tai kävijämäärään perustuen. (Hämäläinen 1995, s.31-34, LVI 22-10386 2005, s.4) Algoritmimallissa mitoitus on tehty julkisissa hankkeissa altaan kokoon perustuen ja yksityisissä kohteissa viipymään perus-tuen. Algoritmimallissa ei ole käytetty kävijämäärään perustuvaa mitoitusta, koska se on osoitettu erityisesti vain suuremmille altaille, eikä hankesuunnitteluvaiheessa välttämättä ole riittävän tarkkoja tietoja tämän mitoituksen läpi viemiseen.

Taulukossa 20 on esitetty kirjallisuudessa annettuja maksimaalisia viipymiä erilaisille al-taille. Viipymällä tarkoitetaan sitä aikaa, jonka kuluessa altaan koko vesimäärä kiertää vedenkäsittelyjärjestelmän läpi. Algoritmimallissa on yksityisaltaiden kohdalla mitoitus-sessa käytetty tavalliselle uintialtaalle osoitettua 6 tunnin viipymää.

Taulukko 20. Eri allastyypin veden kierrätyksen maksimaaliset viipymät (Hämäläinen 1995, s.34).

Allas	T_{\max} (h)
Hyppyallas	10
Uintiallas	6
Suuri opetusallas, $V > 100 \text{ m}^3$	2
Lasten allas	0,5
Lämminvesiallas $30 \text{ °C} < t < 34 \text{ °C}$	1
Lämminvesiallas $t > 34 \text{ °C}$	0,5

5.7.2 Lähtö- ja lopputiedot

Lähtötietona käyttäjältä kysytään altaan koko, lämpötilataso sekä onko allas yksityinen vai julkinen.

Lopputietona julkisissa hankkeissa saadaan kierrätysvirtaama, lämmönsiirtimen teho, putkisto, painehäviö ja tasausaltan koko. Lopputietona yksityisaltaiden kohdalla saadaan kierrätysvirtaama, lämmönsiirtimen teho, putkisto ja painehäviö.

5.7.3 Mitoitus-algoritmi

Käyttäjä tekee valinnan yksityisallas tai julkinen allas. Tämä valinta vaikuttaa siihen, mitä komponentteja järjestelmään valitaan ja miten kierrätysvirtaama lasketaan. Yksityisal-taan kohdalla verkoston mitoitus tehdään muuten vastaavalla tavalla kuin julkisten altaiden, mutta siinä ei mitoiteteta tasausallasta, koska tällaista ei yksityisissä järjestelmissä al-laskokojen vuoksi tarvita. Yksityisaltaihin tulee myös julkisista altaista poiketen vain yksi pumppu, karkeasuodatin ja painehiekkasuodatin. Tilavuusvirrat ovat tässä mitoitus-algoritmissa useissa kaavoissa yksikössä m^3/h , koska laitevalmistajat käyttävät tätä yk-sikköä tuotteissaan. Tällä pyritään helpottamaan tuotevalintoja.

Yksityisaltaan kierrätysvirtaama lasketaan viipymän perusteella kaavalla 41 (Hämäläinen 1995, s.34)

$$q_{v,mit} = \frac{V}{T_{max}}, \quad (41)$$

missä $q_{v,mit}$ on kierrätysvirtaama [m^3/h], V on uima-altaan tilavuus [m^3] ja T_{max} on maksimaalinen viipymä [h]. Laskennassa käytetään maksimaalisen viipymän arvona $T_{max} = 6h$, jossa on oletettu altaan olevan tavallinen uintiallas.

Julkisten uima-altaiden kierrätysvirtaama voidaan laskea kaavalla 42 (LVI 22-10386 2005, s.4)

$$q_{v,mit} = \frac{n_o V_{käynti} A_{allas}}{A_{henkilö}}, \quad (42)$$

missä $q_{v,mit}$ on kierrätysvirtaama [m^3/h], n_o on ominaiskäyntitiheys [1/h], $V_{käynti}$ on käyntiä kohden puhdistettava vesimäärä [m^3], A_{allas} on uima-altaan pinta-ala [m^2] ja $A_{henkilö}$ on henkilöä kohti tarvittava pinta-ala [m^2]. Kaavoissa 42 ja 44 henkilöä kohti tarvittava pinta-ala saadaan määriteltä seuraavasti. $A_{henkilö} =$ pää- ja hyppyaltaat $4,5 m^2$, matalat ($< 1,35m$) tai lämpimät ($\geq +30^\circ C$) altaat $2,7 m^2$. Pääsääntöisesti nämä arvot tarkoittavat sitä, että tarvittavana henkilöalana suuremmissa altaissa käytetään $4,5 m^2$ ja pienemmissä altaissa $2,7 m^2$. Mallin toimivuuden kannalta on tehty seuraava ehto. Jos $A_{allas} > 300 m^2$ käytetään henkilöä kohti tarvittavana pinta-alana $A_{henkilö} = 4,5 m^2$, muuten $A_{henkilö} = 2,7 m^2$. Ominaiskäyntitiheytenä laskennassa käytetään $n_o = 1$, joka on annettu allastiloille. Käyntiä kohden puhdistettavana vesimääränä käytetään $V_{käynti} = 2$. (LVI 22-10386 2005, s.4)

Tasausaltan koko voidaan laskea kaavan 43 avulla (Hämäläinen 1995, s.38, LVI 22-10386 2005, s.3, Talotekniikka RYL 2002, s.287)

$$V_{tas} = V_s + V_l + V_h, \quad (43)$$

missä V_{tas} on tasausaltan tilavuus [m^3], V_s on uimareiden syrjäyttämä vesimäärä [m^3], V_l on loiskeveden määrä [m^3] ja V_h on huuhteluvesimäärä [m^3].

Kaavalla 44 määritetään uimareiden syrjäyttämä vesimäärä (LVI 22-10386 2005, s.3)

$$V_s = \frac{0,075 A_{allas}}{A_{henkilö}}, \quad (44)$$

missä V_s on uimareiden syrjäyttämä vesimäärä [m^3], A_{allas} on uima-altaan pinta-ala [m^2] ja $A_{henkilö}$ on henkilöä kohti tarvittava pinta-ala [m^2].

Kaavalla 45 määritetään loiskeveden määrä (LVI 22-10386 2005, s.3)

$$V_l = 0,04 A_{allas}, \quad (45)$$

missä V_l on loiskeveden määrä [m^3] ja A_{allas} on uima-altaan pinta-ala [m^2].

Huuhteluvesimäärää V_h varten varataan vähintään suurimman tai yhtä aikaa huuhdelta-vien suodattimien huuhteluun tarvittava vesimäärä (LVI 22-10386 2005, s.3). Laskenta-malli mitoittaa huuhteluvesimäärän suurimman suodattimen mukaan. Oletuksena käyte-tään myös sitä, että vain yhtä suodatinta huuhdellaan kerrallaan. Alkuperäinen huuhtelu-vesimäärän kaava antaa $5 - 10 \text{ m}^3$ vesimäärän per suodatinneliömetri (Hämäläinen 1995, s.38). Laskennassa on käytetty keskimääräistä arvoa, jonka vuoksi kaavan 46 kerroin on 7,5. Kaavan 46 mukaan voidaan määritellä huuhteluvesimäärä (Hämäläinen 1995, s.38)

$$V_h = 7,5 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A_{\text{suodatin}}, \quad (46)$$

missä V_h on huuhteluvesimäärä [m^3] ja A_{suodatin} on suodattimen pinta-ala [m^2]. Kullekin suodattimelle lasketaan tarvittava ala eri suodattimille määriteltujen nopeuksien ja kier-rätysvirtaaman avulla. Karkeasuodattimille käytetään huuhtelunopeutena 90 m/h, paine-hiekkasuodattimille 60 m/h ja aktiivihiilisuodattimille 40 m/h. Näiden pohjalta voidaan kullekin suodattimelle laskea tarvittava pinta-ala A_{suodatin} kaavan 2 avulla. Kaavassa käy-tetään tilavuusvirtana kaavassa 42 laskettua kierrätysvirtaamaa sekä eri suodattimien no-peuksina yllä annettuja huuhtelunopeuksia. (Hämäläinen 1995, s.45-46, LVI 22-10386 2005, s.6-7, Talotekniikka RYL 2002, s.289)

Otsonaattorin mitoitusmassavirta on laskettu puolelle kierrätysvirtaamalle LVI-ohjekor-tin ja suunnittelijan ohjeen mukaisesti. Otsonin syöttömääräksi on valittu eri lähteiden keskimääräinen arvo 1 g/m^3 . (Ala-Peijari 2014, Hämäläinen 1995, s.64-65, LVI 22-10386 2005, s.9, Talotekniikka RYL 2002, s.294) Kaavan 47 avulla määritellään otsonaattorin massavirta

$$q_{m,ots} = 0,5q_{v,mit}, \quad (47)$$

missä $q_{m,ots}$ on otsonaattorin massavirta [g/h] ja $q_{v,mit}$ on kierrätysvirtaama [m^3/h].

Aktiivihiilisuodatuksen kertoimeksi on valittu 0,3, koska ohjeessa oli sanottu, että kierrä-tysvirtaamasta pitää käsitellä vähintään 15 % (LVI 22-10386 2005, s.9). Mallissa on ha-luttu valita hieman korkeampi käsittelymäärä, jotta suodatusteho on varmasti riittävä. Ak-tiivihiilisuodattimen läpi kulkeva tilavuusvirta saadaan laskettua kaavalla 48

$$q_v = 0,3q_{v,mit}, \quad (48)$$

missä q_v on aktiivihiilisuodattimen läpi kulkeva tilavuusvirta [m^3/h] ja $q_{v,mit}$ on kierrätys-virtaama [m^3/h].

Algoritmimalli mitoittaa lämmönsiirtimen ylöslämmityksen tehontarpeen, koska se on selvästi suurempi kuin ylläpitoteho. Tällaisia tilanteita ovat uimahallien huollot, jolloin koko allas tyhjennetään. Lämmönsiirtimen ylöslämmityksen tehontarve lasketaan kaa-valla 49

$$\phi_{ylös} = \frac{V\rho_v c_{pv}\Delta T}{t}, \quad (49)$$

missä $\phi_{ylös}$ on lämmönsiirtimen ylöslämmityksen tehontarve [kW], V on uima-altaan ti-lavuus [m^3], ρ_v on veden tiheys [kg/m^3], c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK], ΔT on lämpötilaero kylmän veden ja uima-allasveden lämpötilan välillä [K] ja t on aika,

jonka kuluessa vesi lämmitetään [s]. Ylöslämmityksen tehontarpeen aikajaksoksi on arvioitu 2 päivää eli $t = 172\,800$. Lämpötilaerona käytetään altaan lämpötilaa, josta on vähennetty 5 astetta, joka on oletettu kylmän veden lämpötilaksi. Veden tiheyttä laskennassa käytetään $\rho_v = 998$ ja veden ominaislämpökapasiteettina $c_{pv} = 4,19$. Altaan mitat kysytään käyttäjältä.

Järjestelmän putkiston runkokoot voidaan laskea kaavan 5 avulla. Putkiston mitoitusvirtaamana käytetään kaavasta 41 tai 42 saatua kierrätysvirtaamaa $q_{v,mit}$ ja putkiston virtausnopeutena käytetään $v = 1,5$ m/s, joka on osoitettu syöttöputkistoille (Kaiko Oy 1988, s.269). Samaa nopeutta on käytetty verkoston imu- ja painepuolella. Putkikokoko valitaan liitteen 5 muovisten paineputkien taulukosta.

Suuttimien mitoitus on perustettu pohjasyöttöön, koska altaan muotoa ei tiedetä. Pohjasyöttö soveltuu kaikkiin tilanteisiin. Haastattelemalla vedenkäsittelysuunnittelijaa, saatiin käsitys siitä, että kierrätysvirtaamaperusteinen mitoitus tapa on parempi etenkin suuremmissa altaissa kuin neliöperusteinen mitoitus. Yhden suuttimen virtaamana on käytetty keskimääräistä arvoa $7,5\text{ m}^3/\text{h}$. (Hämäläinen 1995, s.36, LVI 22-10386 2005, s.3, Mäki 2014) Syöttösuuttimien lukumäärä saadaan laskettua kaavalla 50

$$n_{syöttö} = \frac{q_{v,mit}}{7,5}, \quad (50)$$

missä $n_{syöttö}$ on syöttösuuttimien lukumäärä [kpl] ja $q_{v,mit}$ on kierrätysvirtaama [m^3/h].

Kaavojen 2 ja 4 sekä yhden suuttimen virtaaman avulla saadaan johdettua kaava 51. Sen avulla voidaan määritellä syöttöjohtojen kytkentälinjoille sisähalkaisijan koko

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,5}{\pi v 3600}} = \sqrt{\frac{30}{3600 \pi v}}, \quad (51)$$

missä d on syöttöputken sisähalkaisija [m] ja v on virtausnopeus putkessa [m/s]. Laskennassa virtausnopeutena käytetään $v = 1,5$.

Poistojen lukumäärän arvioinnissa on käytetty oletusta, että yhteen poistolinjan kytkentäjohtoon tarvitaan 150 m^2 :n uima-altaan pinta-ala. Kuitenkin niin, että jokaiselle uima-altaalle tulee vähintään 2 kpl poistolinjoja. Oletus on tehty uima-aitaiden suunnitelmia tarkastelemalla, koska tähän ei löytynyt mitoitusperustetta kirjallisuudesta. Poistolinjojen lukumäärä saadaan laskettua kaavan 52 avulla

$$n_{poisto} = \frac{A_{allas}}{150}, \quad (52)$$

missä n_{poisto} on poistolinjojen lukumäärä [kpl] ja A_{allas} on uima-altaan pinta-ala [m^2].

Yhden poistopisteen virtaama saadaan laskettua kaavan 53 avulla

$$q_v = \frac{q_{v,mit}}{3600 n_{poisto}}, \quad (53)$$

missä q_v on poistopisteen virtaama [m^3/s], $q_{v,mit}$ on verkoston kierrätysvirtaama [m^3/h] ja n_{poisto} on poistolinjojen lukumäärä [kpl].

Yhdistämällä kaavat 2, 4, 52 ja 53 saadaan poistojen kytkentälinjojen sisähalkaisijalle kaava 54

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 150 \cdot q_{v,mit}}{3600 \pi v A_{allas}}} = \sqrt{\frac{q_{v,mit}}{6 \pi v A_{allas}}}, \quad (54)$$

missä d on poistolinjojen sisähalkaisija [m], $q_{v,mit}$ on verkoston kierrätysvirtaama [m^3/h], v on virtausnopeus [m/s] ja A_{allas} on uima-altaan pinta-ala [m^2]. Laskennassa virtausnopeutena käytetään $v = 1,5$.

Runkoputkiston pituus lasketaan kaavalla 55

$$L_{runko} = 2x_{allas} + 2y_{allas}, \quad (55)$$

missä L_{runko} on runkoputkiston pituus [m], x_{allas} on uima-altaan pituus [m], y_{allas} on uima-altaan leveys [m]. Kaavan altaan mitat kysytään käyttäjältä.

Kytkeäputkiston pituus lasketaan kaavalla 56

$$L_{kytkentä} = 3(n_{syöttö} + n_{poisto}), \quad (56)$$

missä $L_{kytkentä}$ on kytkentälinjojen pituus [m], $n_{syöttö}$ on syöttösuuttimien lukumäärä [kpl] ja n_{poisto} on poistolinjojen lukumäärä [kpl].

Reynoldsin luku lasketaan kaavalla 57 (Laiho 1991, s.34)

$$Re = \frac{vd}{\nu_{vesi}}, \quad (57)$$

missä Re on Reynoldsin luku [-], v on virtausnopeus [m/s], d on putken sisähalkaisija [m] ja ν_{vesi} on veden kinemaattinen viskositeetti [m^2/s]. Laskennassa virtausnopeutena käytetään $v = 1,5$ ja veden kinemaattisena viskositeettina $\nu_{vesi} = 1 \cdot 10^{-6}$.

Putkiston virtaus on kaikissa tapauksissa selvästi turbulenttista, jonka vuoksi kitkakertoimen laskentaan voidaan käyttää kaavaa 58 (Seppänen 2001, s.139)

$$\lambda = 0,25 \left(\lg \left(\frac{k/d_{mm}}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^{-2}, \quad (58)$$

missä λ on kitkakerroin [-], k on pinnankarheus [mm], d_{mm} on putken sisähalkaisija [mm] ja Re on Reynoldsin luku [-]. Tässä kaavassa käytetään muoviputkea, jonka pinnankarheus on $k = 0,005$ (Laiho 1991, Liite 6).

Kitkavastusten aiheuttama painehäviö lasketaan kaavalla 59 (Seppänen 2001, s.137)

$$\Delta p_{kitka} = \frac{0,5 \lambda L_{kok} \rho_v v^2}{d}, \quad (59)$$

missä Δp_{kitka} on kitkavastusten aiheuttama painehäviö [Pa], λ on kitkakerroin [-], L_{kok} on verkoston kokonaispituus [m], ρ_v on veden tiheys [kg/m^3], v on virtausnopeus [m/s] ja d on putken halkaisija [m]. Veden tiheytenä käytetään $\rho_v = 998$ ja virtausnopeutena $v = 1,5$.

Jokaiselle kytkentälinjalle kertavastuskertoimeksi f_t on arvioitu 12. Arviointi on tehty todellisen hankkeen pumppujen paineenkorotustarpeeseen vertaamalla. Tämä ottaa huomioon kaikki verkostossa olevat laitteet. Tällöin kertavastuksien määrä kasvaa syöttö- ja poistopisteiden lukumäärän mukaan. Kertavastusten aiheuttama painehäviö lasketaan kaavan 60 mukaan (Seppänen 2001, s.139)

$$\Delta p_{kerta} = \frac{f_t \sum n \rho_v v^2}{2}, \quad (60)$$

missä Δp_{kerta} on kertavastusten aiheuttama painehäviö [Pa], f_t on kertavastuskerroin [-], $\sum n$ on poistolinjojen ja syöttösuuttimien lukumäärä [kpl], ρ_v on veden tiheys [kg/m^3] ja v on virtausnopeus [m/s]. Kertavastuskertoimenä käytetään $f_t = 12$, veden tiheytenä $\rho_v = 998$ ja virtausnopeutena $v = 1,5$.

Kokonaispainehäviö saadaan laskemalla kitka- ja kertavastusten aiheuttama painehäviö yhteen kaavalla 12.

Desinfiointilaitteiston mitoitus voidaan tehdä seuraavasti (Kaiko Oy 1988, s.277)

$$q_v = 0,03 q_{v,mit}, \quad (61)$$

missä q_v on desinfiointilaitteiston tilavuusvirta [l/h] ja $q_{v,mit}$ on verkoston kierrätysvirtaama [m^3/h]. Laskennassa on oletettu, että liuos on 5 %:sta.

Saostuskemikaalin syöttölaitteen mitoitus tehdään seuraavasti (Kaiko Oy 1988, s.278)

$$q_v = 0,0075 q_{v,mit}, \quad (62)$$

missä q_v on saostuskemikaalin tilavuusvirta [l/h] ja $q_{v,mit}$ on verkoston kierrätysvirtaama [m^3/h]. Laskennassa on oletettu, että liuos on 5 %:sta.

Kokonaispainehäviön ja kierrätysvirtaaman avulla voidaan mitoittaa verkostoon pumput. Pumppuja valitaan julkisiin järjestelmiin kaksi kappaletta ja yksityisiin kohteisiin yksi kappale. Julkisissa hankkeissa kokonaispainehäviö ja kierrätysvirtaama jaetaan tällöin kahteen yhtä suureen osaan, jolloin kummallakin pumpulla on samat ominaisuudet. Tällä mahdollistetaan järjestelmän käyttö julkisissa uimahalleissa, vaikka toista pumppua jouduttaisiin huoltamaan (LVI 22-10386 2005, s.4).

5.7.4 Mallin testaus ja analysointi

Algoritmimalli testattiin todellisella julkisella uimahallilla. Uimahallissa oli kolme 27 °C:n uima-allasta, kolme 32 °C:n uima-allasta sekä yksi 4 °C:n kylmäallas. Testaus suoritettiin 27 °C:n 25 metriselle uima-altaalle. Altaan mitat olivat: uima-altaan pituus $x_{allas} = 25$ m, uima-altaan leveys $y_{allas} = 25$ m ja uima-altaan korkeus $h_{allas} = 1,6$ m. Uima-altaan tilavuus oli $V = 1\,000\text{ m}^3$ ja uima-altaan pinta-ala $A_{allas} = 625\text{ m}^2$.

Lähtötietojen avulla algoritmimallista saatiin kierrätysvirtaamaksi 278 m^3/h . Uima-altaan todellinen kierrätysvirtaama suunnitelmissa oli 280 m^3/h . Mitoitusmallin kierrätysvirtaama vastaa siis täysin suunnitelmissa olevaa kierrätysvirtaamaa, koska suunnitelman virtaama on todennäköisesti pyöristetty ylöspäin.

Kaikille kolmelle 27 °C:n altaalle todellisessa hankkeessa oli yhteinen tasausallas, jonka koko oli 50 m³. Tasausaltaaseen johdetaan sekä ihmisten syrjäytys- että loiskevedet. Tasausallas ei sisällä huuhteluvesiä, vaan kaikille altaille oli yhteinen huuhteluvesiallas, jonka tilavuus oli 100 m³. Algoritmimallin avulla ihmisten syrjäyttäväksi vesitilavuudeksi V_s saatiin 10 m³ ja loiskeveden tilavuudeksi V_l 25 m³. Yhteenlaskettuna näistä tuli siis 35 m³. Kun verrataan tätä suunnitelman 50 m³ tasausaltaan kokoon, voidaan todeta, että laskentamalli mitoittaa huomattavasti isomman tasausaltaan, sillä suunnitelmassa tuohon 50 m³:n tasausaltaaseen johdetaan noin kolmen testialtaallisen verran vesiä. Tästä ei kuitenkaan pysty tekemään sen suurempia päätelmiä, koska testihankkeessa vedenkäsittelyjärjestelmiä on yhdistelty ja näin ollen altaiden kokoa on myös mahdollisesti jonkin verran pienennetty.

Huuhteluvesimääräksi V_h saatiin lähtötietojen avulla 35 m³. Todellisessa hankkeessa huuhteluvesiallas oli kooltaan 100 m³, mutta siihen oli johdettu kuuden altaan huuhteluvedet. Tästä voidaan todeta, että mallin laskemat huuhteluvesimäärät ovat suuremmat, kuin todellisessa hankkeessa. Tähän voi syynä olla se, että todellisessa hankkeessa tehdään huuhtelu todennäköisesti porrastetusti, jolloin aivan näin suurta huuhteluvesiallasta ei myöskään tarvita.

Todellisessa hankkeessa uima-altaan veden kierrätykseen osallistui kolme pumppua, joista yksi palveli myös muita uima-altaita. Ainoastaan testiallastamme palvelevien pumppujen virtaamat olivat 125 m³/h ja nostokorkeus 15 mvp eli noin 150 kPa. Näiden kahden pumpun yhteisvirtaama oli siis 250 m³/h ja nostokorkeus 300 kPa. Kolmannen pumpun, joka palveli myös muita altaita, kokonaisvirtaama oli 100 m³/h ja nostokorkeus 50 kPa. Näin ollen, kun kaikkien pumppujen tiedot kootaan yhteen, saadaan kokonaisvirtaamaksi 350 m³/h ja nostokorkeudeksi 350 kPa. Algoritmimallin mukaan kokonaispaineenkorotuksen tarve oli 270 kPa ja virtaama 278 m³/h. Kun verrataan näitä todellisen hankkeen tietoihin, voidaan havaita, että virtaama on 23 % pienempi ja painehäviö 21 % pienempi.

Todellisessa hankkeessa verkostossa oli 2 klooripumppua, joiden yhteisvirtaama oli 5 l/h. Laskentamalli laski desinfiointikemikaalin syöttötarpeeksi 8,3 l/h. Tämä on 3,3 l/h eli 66 % korkeampi, kuin todellisen hankkeen desinfiointilaitteen syöttövirtaama. Kirjallisuudesta löytyi ainoastaan yksi mitoitusohje desinfiointilaitteelle ja selvästi todellisessa hankkeessa on käytetty mahdollisesti laimeampaa liuosta kuin mitoitusohjeessa. Tästä voi johtua mitoitusmallin ja todellisen hankkeen antama suuri ero.

Todellisessa hankkeessa oli kaksi saostuskemikaalin syöttölaitetta. Näiden yhteisvirtaama oli 1 l/h. Laskentamallin avulla kokonaissaostuskemikaalin syöttötarpeeksi saatiin 2,1 l/h. Näitä kahta arvoa verratessa huomataan, että ero on suuri. Tätä pitää vielä jatkossa tarkastella tarkemmin.

Otsonaattorin virtaamaksi laskentamallissa saatiin 139 g/h. Otsonaattorin mitoitusvirtaamaa ei voitu testata todellisella hankkeella, sillä verkostossa ei ollut otsonaattoria.

Aktiivihiihli-suodattimen tilavuusvirraksi algoritmimallista saatiin 83 m³/h, mikä vastaa melko hyvin todellista hanketta. Todellisen hankkeen tiedoissa sanotaan, että aktiivihiihli-suodattimen virtaama vaihtelee välillä 40 - 100 m³/h.

Lämmönsiirrin todellisessa hankkeessa oli mitoitettu ylläpitoa silmällä pitäen. Selostuksessa oli sanottu, että lämpöhäviöt 27 °C:n kierrossa normaalitilanteessa ovat noin 200 kW. Algoritmimalli mitoittaa 530 kW:n lämmönsiirtimen, jonka tarkoitus on lämmittää vesimäärä kahden päivän aikana. Verrattaessa siirtimen kokoa todellisen hankkeen siirtimen kokoon, huomataan, että laskentamalli mitoittaa melko suuren siirtimen. Mitoitusmalli mitoittaa altaalle siirtimen ylöslämmityksen tehoa varten, eikä ylläpitoa varten, kuten todellisessa hankkeessa. Tästä syystä ero näiden kahden siirtimen välillä on melko suuri. LVI-ohjekortissa oli kuitenkin ylöslämmityksen tehontarpeen määrittämiseen sääntö, jonka mukaan ylöslämmityksen tehontarve on noin kolminkertainen ylläpitotehtoon verrattuna (LVI 06-10451 2009, s.13). Jos tätä sääntöä soveltaa esimerkkinä todelliseen hankkeeseen, ylöslämmityksen tehontarve olisi 600 kW:n luokkaa, jolloin laskentamallin lämmönsiirtimen teho on arvioitu noin 12 % todellista lämmönsiirintä pienemmäksi.

Algoritmimalli laski runkolinjojen pituudeksi 200 m ja kytkentälinjojen pituudeksi 123 m. Yhteenlaskettuna verkoston kokonaispituudeksi saatiin 323 m. Todellisessa hankkeessa verkoston kokonaispituus oli 305 m, joten laskentamalli mitoitti 18 m eli 6 % enemmän putkistoa, kuin todellisessa hankkeessa oli. Laskentamallissa runkolinjojen kooksi tuli DN 280 ja todellisessa suunnitelmassa runkolinjan koot vaihtelivat DN 160 – 315 välillä. Myös kytkentälinjojen putkikoossa oli jonkin verran heittoa todelliseen hankkeeseen verrattuna. Putkiston vertailu löytyy taulukosta 21.

Taulukko 21. Todellisen hankkeen ja mallin putkiston vertailu.

Putkisto	Lähde	Määrä (m)	Koko (DN)
Runkolinjat	Malli	200	280
	Todellinen	185	160, 225, 280, 315
Syöttöputket (kytkentä)	Malli	111	63
	Todellinen	104	63, 90
Poistoputket (kytkentä)	Malli	12	160
	Todellinen	16	110
Kaikki yhteensä	Malli	323	63, 160, 280
	Todellinen	305	63, 90, 110, 160, 225, 280, 315

Laskentamallia voidaan tulevaisuudessa kehittää erilaisille alueille. Laskentamallin antamat arvot sekä komponentit poikkesivat jonkin verran todellisesta hankkeesta, jonka vuoksi mallin paremman toiminnan arviointiin tarvitaan lisää tietoa erilaisista hankkeista. Algoritmimallia oli hankala testata, koska todellisessa hankkeessa erilaisia toimintoja oli yhdistelty niin paljon. Jatkossa algoritmimallia kannattaa testata yhden uima-altaan kohdissa ja sen jälkeen tehdä tarkastelua vielä useampien uima-altaiden kohteissa.

6 Johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli luoda periaatteet rakennusten LVI-järjestelmien tietomallintamiselle ennen suunnittelua siten, että malli käsittelee yhtä aikaa rakennusta tilaajan (olosuhde / palvelu), suunnittelijan (järjestelmä) ja tuotannon näkökulmasta (hankinta / toteutus). Tutkimuksessa tutustuttiin kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella tietomallintamiseen ja strategiseen toimitilasuunnitteluun, sekä selvitettiin niiden nykytilaa ja tarkoitusta. Työssä tehtiin myös suunnittelua simuloivat algoritmimallit sekä LVI-nimikkeistö, joiden avulla tietomallintamista ennen suunnittelua voitiin havainnoida.

Kirjallisuudessa rakennusten tietomallintaminen määriteltiin hyvin monella eri tavalla, mikä mahdollisesti kuvastaa tietomallintamisen ja tietotekniikan nopeaa kehitystä. Määritelmien hajonta voi myös kuvastaa tietomallintamisen siirtymävaihetta, joka tällä hetkellä on käynnissä. Osassa hankkeista tietomallinnusta käytetään hyväksi, osassa ei. Monissa rakennuksen tietomallin määritelmässä oli yhtäläisyytenä se, että niissä määriteltiin rakennuksen tietomalli rakennuksen koko elinkaaren aikaiseksi tietojen kokonaisuudeksi. Tämä määritelmä ei toteudu käytännön tietomallintamisessa tällä hetkellä, sillä tietomallintamista ei käytetä hankesuunnitteluvaiheessa ja hyvin vähän rakennusten käytön ja ylläpidon aikana. Tietomallien pääasiallinen käyttö on suunnittelun tukeminen ja sitä käytetäänkin yleisesti visuaaliseen tarkasteluun. Kirjallisuudessa todettiin myös, että tietomallit eivät tue investointivaiheen päätöksentekoprosessia. Rakennushankkeen investoijan tulisi saada tietoa paitsi hankkeen hyödyistä, myös sen kustannuksista vaihtoehtoisilla toteutusratkaisuilla. Nykyiset suunnittelukeskeiset tietomallit eivät tue hyötyjen ja kustannuksien tarkastelua, koska suunnitelmien määriä voidaan hinnoitella vasta suunnitelmien valmistuttua.

Rakennushankkeen tilaajaa ei yleensä edusta yksi henkilö, vaan päätöksentekoon osallistuu suuri joukko. Rakennukselle asetetut tavoitteet ovat moninaiset ja hyvin usein alkutilanteessa liian kalliit suhteessa yrityksen saamaan hyötyyn. Strategisen toimitilasuunnittelun avulla pyritään antamaan rakennushankkeeseen ryhtyvälle riittävä arviointikeino päätöksenteon tueksi jo ennen suunnitteluvaihetta. Strategisella toimitilasuunnittelulla tarkoitetaan investointipäätösten tueksi kehitettyä palautteenantomenettelyä, joka käyttää hyväksi toimitilasuunnittelua ja tavoitehintamenettelyä. Menettely mahdollistaa hinnan arvioinnin ja vaihtoehtojen taloudellisen vertailun ilman, että käynnistetään pitkää suunnittelu- ja laskentaprosessia. Strategisen toimitilasuunnittelun tavoitteena on sitouttaa organisaatio hankkeen tavoitteisiin jo ennen suunnittelua. Tämän hetken kustannusarviointimenettely on hidas suhteessa tarpeeseen. Toiminnallisia vaihtoehtoja tarkastellaan, suunnitelmia laaditaan erilaisista vaihtoehtoista ja lopuksi suunnitelmat hinnoitellaan. Investointivaiheen päätöksentekojärjestelmä tarvitsee tuekseen nopean kustannusarvioimenetelmän, joka käyttää lähtötietona sitä informaatiota, joka on investointipäätöstä tehtäessä olemassa.

Teollisuudessa on ollut yleisesti käytössä target costing -periaate. Tässä periaatteessa tuotteen kustannus hinnoitellaan tuotteen tilaajalle tuomien hyödyllisten ominaisuuksien perusteella, eikä näiden ominaisuuksien ratkaisemiseen laadittujen suunnitelmien avulla. Tämä tavoitekustannus asetetaan suunnittelun tavoitteeksi, muiden tavoitteiden rinnalle. Tavoitehinnan saavuttaminen edellyttää suunnittelun ohjaamista ja suunnitteluratkaisujen hinnoittelua sekä vertaamista asetettuun tavoitteeseen koko suunnittelu- ja toteutusprosessin ajan. Suunnittelijat tiiminä hakevat suunnitteluratkaisua, jolla toiminnalliset, laadulliset ja taloudelliset tavoitteet voidaan saavuttaa. Jotta suunnittelijat voivat tavoitehinnan saavuttaa, se tulee asettaa sellaiselle kustannusten vaihteluvälille, jossa suunnitelmia

on mahdollista laatia. Kirjallisuudessa on arvioitu, että rakennusallalla saman toiminnallisen tavoitteen saavuttamiseksi laadittujen erilaisten suunnitteluratkaisujen kustannusvaihtelu on noin $\pm 30\%$. Edelleen on havaittu, että suunnitelmien kalleuden ja niiden laadullisen hyvyyden korrelaatio on hyvin pieni, lukuun ottamatta kaikkein halvimpia suunnitteluratkaisuja.

Haahtela -yhtiöt on kehittänyt ja tuotteistanut rakennusallalle tavoitehintamenettelyn (TAKU®). Tavoitehintamenettely käyttää lähtötietona tilaajan toivomaa tilaohjelmaa sekä niitä olosuhdeominaisuuksia, joita tilaaja tiloilta haluaa. Menettely mallintaa tavoitteista rakennuksen järjestelmiä algoritmeilla, jotka simuloivat suunnitteluprosessia. Tässä työssä on tarkasteltu algoritmimallien periaatteita, jotka muuntavat tilojen ominaisuuksia rakennuksen järjestelmiksi. Periaatteiden testaamiseksi on tässä työssä laadittu mallialgoritmit viidestä LVI-järjestelmästä (kohdepoisto, kustutus, teollisuuden paineilma, sairaalakaasu happi ja uima-altaiden vedenkäsittely). Algoritmien lopputietona on järjestelmäkuvaus määrineen, jonka hinnoittelun perusteella tavoitehintaa voidaan määrittää. Testauksessa todettiin, että uima-altaiden vedenkäsittelyä lukuun ottamatta mallinnettujen määräluetteloiden erot suhteessa satunnaisesti valittuihin todellisiin suunnitelmiin olivat keskimäärin alle $\pm 10\%$. Mallit siis asettuivat hyvin sille vaihteluvälille, joka kirjallisuudessa oli todettu luonnossuunnitteluvaiheen suunnitteluratkaisuissa olevan ($\pm 20\%$). Algoritmimallien ja todellisten suunnitelmien komponentit erosivat myös jonkin verran toisistaan, koska malleilla on pyritty luomaan mahdollisimman laaja käyttöalue. Uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmien mallinnus osoitti, että on tärkeää tutkia, paitsi järjestelmiä, myös sitä sanastoa, jolla tilaaja voi kuvata järjestelmien hyötyä. Uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmiä mallinnettaessa havaittiin, että vesielämysten tuottamisen kuvaaminen on haastavaa. Työn algoritmimallien avulla saatiin varmuus siitä, että tietomallintamista voidaan käyttää jo hankesuunnitteluvaiheessa.

Algoritmimallien tarkoituksena oli mallintaa tilojen palveluominaisuuksia palveluita tuottavina järjestelminä. Tämän vuoksi tässä työssä kehitettiin myös LVI-nimikkeistöt siten, että teknisiä järjestelmiä voidaan tarkastella käyttäjän näkökulmasta järjestelmien tuottamina palveluina, suunnittelijan näkökulmasta järjestelmien rakenteena ja tuotannon näkökulmasta tuotannon organisoimisena. Tämä toimintaketju on työssä toteutettu rakennusosanimikkeistön ja tuotantonimikkeistön avulla. Nimikkeistöjen toimintaa testattiin todellisen hankkeen määräluettelon ja nimikkeistöjen yhteistoiminnan avulla. Kommentteja saatiin myös alan käytännön työtä tekevilta henkilöiltä ja tämä palaute oli positiivista. Testauksen ja kommenttien avulla saatiin varmuus siitä, että nimikkeistöt toimivat hyvin kaikkien rakennushankkeen osapuolien näkökulmasta.

7 Jatkotutkimukset

Kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella voidaan todeta, että tietomallintaminen ei ole vielä sillä tasolla, mihin niiden tavoitteet on asetettu. Nykyään niitä käytetään lähinnä visualisoinnin apukeinona. Tämän hetken tietomalleilla ei pystytäkään vastaamaan hankesuunnittelun, eikä käytön ja ylläpidon tarpeisiin. Näihin rakennushankkeiden vaiheisiin on siis jatkossakin tarvetta erilaisille tutkimus- ja kehittämishankkeille. Tietomallintamisen osalta sekä hankesuunnitteluvaiheen että käytön ja ylläpidon vaiheisiin tulisi jatkossa kehittää lisää työkaluja. Erityisesti vielä hankkeen alkupäähän, koska sen vaikutukset ovat elinkaarikustannuksien näkökulmasta suuret. Uusien kehitettyjen ohjelmistojen tulee olla helpokäyttöisiä, antaa vastaus nopeasti ja vastata aikaisen vaiheen tarpeisiin.

Työssä luotuja algoritmimalleja voidaan tulevaisuudessa kehittää, jotta ne kattaisivat vielä laajemmin erilaisia käyttäjän toiminnallisia vaatimuksia. Tämä kuitenkin edellyttää myös sitä, että käyttäjältä on kysyttävä enemmän lähtötietoja. Tästä syystä on punnittava halutaanko monimutkaisuutta tietomalliin lisätä. Kun jatkossa uusia algoritmimalleja luodaan, olisi hyvä ottaa vähemmän algoritmimalleja käsittelyyn ja testata niitä useammilla hankkeilla, kuin mitä tässä työssä on tehty. Tällä menettelyllä saataisiin kattavampi käsitys todellisten hankkeiden hajonnasta ja siitä, vastaako algoritmimalli riittävän moneen erityyppiseen tapaukseen.

Yleisesti voidaan sanoa, että sairaala- ja teollisuuskaasuista oli hyvin vähän ohjeistusta ja niiden löytäminen oli työlästä. Työtä aloitettaessa ei sairaalakaasuille löytynyt yhtenäistä mitoitusohjetta. Tällöin soiteltaessa eri yrityksiin, saatiin käsitys, että yhtenäisille mitoitusohjeille oli suuri tarve. Sairaalakaasujen yhtenäinen mitoitusohje valmistui aivan työn viime metreillä vuoden 2014 alussa (Suomen sairaalatekninen yhdistys ry 2014). Käytännössä tähän valmistuneeseen oppaaseen oli koottu tieto pitkälti niistä lähteistä, joita tässäkin työssä oli käytetty. Tätä kyseistä opasta lukuun ottamatta, erilaisista kaasujärjestelmistä on hyvin vähän tietoa saatavilla. Tällä perusteella kaasujärjestelmien tutkimus- ja kehitystyötä olisi hyvä viedä eteenpäin, erityisesti ainakin mitoitusperusteiden osalta.

Tulevaisuudessa tulee olemaan mielenkiintoisena tutkimusaiheena se, miten tällainen hankesuunnitteluvaiheen tietomalli keskustelee suunnitteluvaiheen tietomallien kanssa yhteen. Tämä ohjelmistojen yhteensopivuus on tärkeä siitä näkökulmasta, että hankesuunnitteluvaiheen tiedot saadaan helposti käyttöön myös suunnitteluvaiheen tietomalleihin. Kuten kirjallisuuskatsauksessa todettiin, monissa ohjelmistoissa on puutteita ohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa. Ohjelmistojen välistä tiedonsiirtoa tulisi kehittää niin, että ohjelmistot toimisivat paremmin yhdessä ja tiedon siirtäminen ohjelmien välillä olisi helpompaa.

Uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmien osalta vaikutti siltä, että ei täysin osata sanoa, mitä vedenkäsittelyn menetelmiä kannattaa käyttää erilaisissa tilanteissa. Aiheesta on tehty jonkin verran tutkimusta, mutta ilmeisesti käytännön ohjeistusta näihin asioihin tulisi saada vielä enemmän. Tällä hetkellä monet ratkaisut tehdään omien kokemusten tai arvioiden pohjalta. Erilaisten vedenkäsittelymenetelmien oikeita käyttötarkoituksia tulisi terävöittää, jotta valinnat tehdään tietoon, ei oletuksiin perustuen.

Lähteet

- AbouRizk, S.M., Babey, G.M. & Karumanasseri, G. 2002. Estimating the cost of capital projects: an empirical study of accuracy levels for municipal government projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*. [Verkkolehti]. Vol. 29:5. s. 653-661. [Viitattu 17.2.2014]. DOI: 10.1139/L02-046. ISSN 0315-1468 (sähköinen). Saatavissa: https://4c7dbd62-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/transmetrics/docs/Canadacapitalinfrastructurecosts.pdf?attachauth=ANoY7coelyXNkH9kl64y-AwR3Y6DqLR3XAkeaFROqWk0O7xOl95-QGb1jKA6Z5fZX9YWADhORpsP8aVuflHozpH-sAa7_88Eb4tIZkkiX8ne7Iz_9JjYxzMOx93oilieXAgohiP-kRstoLf6sbwWiV2runlXbMwmikvSBkxQLWguzurIumEs-dRI991dP00GsMVivR_crKZD9OfVLX3deBF93u4Goy1e1n-vLOTxEhIBCpJRwctN-lZGeaOriy-bSM5ta8DP5NqVW9Y&attredirects=0.
- Ahmed, S.M. & Kangari, R. 1995. Analysis of client-satisfaction factors in construction industry. *Journal of Management in Engineering*. [Verkkolehti]. Vol. 11:2. s. 36-44. [Viitattu 23.1.2014]. ISSN 1943-5479 (sähköinen), ISSN 0742-597X (painettu). Saatavissa: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(1995\)11:2\(36\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0742-597X(1995)11:2(36)).
- Airila, M. 1983. Kompressorikirja. Korpivaara Oy Hydor Ab. Helsinki. 203 s. ISBN 951-99433-8-2.
- Airwin 2014. N-KBD kostutin. Laite-esite. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://www.brautek.fi/datafiles/userfiles/onet/fi/attachments/nkbd-esite.pdf>.
- Ala-Peijari, T. 2014. Suunnittelija ja projektinjohtaja. Vesilaitosten ja uimahallien vedenkäsittelyjärjestelmät. Pöyry Finland Oy. Puhelinhaastattelu 1.1.2014.
- Anderson, J.C. & Narus, J.A. 1998. Business marketing: understand what customers value. *Harvard Business Review*. [Verkkolehti]. Vol. 76:6. s. 53-65. [Viitattu 9.1.2014]. ISSN 0017-8012 (sähköinen). Saatavissa: [http://webkuliah.unimedia.ac.id/ebook/fi-les/Harvard%20Business%20Review,%20%20Business%20Marketing%20-%20Understanding%20What%20Customers%20Value%20\(James%20C.Anders.pdf](http://webkuliah.unimedia.ac.id/ebook/fi-les/Harvard%20Business%20Review,%20%20Business%20Marketing%20-%20Understanding%20What%20Customers%20Value%20(James%20C.Anders.pdf).
- Artto, K., Martinsuo, M. & Kujala, J. 2006. Projektiliiketoiminta. WSOY Oppimateriaalit Oy. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 31.12.2013]. ISBN 951-0-31482-x. Saatavissa: http://pbgroup.aalto.fi/en/the_book_and_the_glossary/projektiliiketoiminta.pdf.
- Atlas Copco 1967. Paineilmakäsikirja. Oy Julius Tallberg Ab. Helsinki. 203 s.
- Azhar, S., Hein, M. & Sketo, B. 2011. Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks and challenges for the AEC industry. *Leadership & Management in Engineering*. [Verkkolehti]. Vol. 11:3. s. 241-252. [Viitattu 30.12.2013]. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127. ISSN 1532-6748 (sähköinen). Saatavissa: <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CPGT182002008.pdf>.
- Bagge, J. & Pukkila, O. 1978. Ilmatekniikan suunnitteluopas. Osa 1. Valmet Oy. Helsinki.

Ballard, G. 2011. Target value design: Current benchmark (1.0). *Lean Construction Journal*. [Verkkolehti]. s. 79-84. [Viitattu 27.2.2014]. ISSN 1555-1369 (sähköinen). Saatavissa: http://www.leanconstruction.org/media/docs/lcj/2011/LCJ_11_009.pdf.

Ballard, G. 2007. Target costing in the construction industry. Presentation in P2SL 2007 Conference, Berkeley, California. [Konferenssijulkaisu]. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <http://p2sl.berkeley.edu/2007-02-07/Presentations/03-Ballard-TargetCosting.pdf>.

Ballard, G. & Pennanen, A. 2013. Conceptual estimating and target costing. Proceedings for the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brasilia. s. 217-226. [Konferenssijulkaisu]. [Viitattu 27.3.2014]. Saatavissa: <https://www.dropbox.com/s/t9o3afzwh8hdx6/BALLARD%20PEN-NANEM%202013%20Conceptual%20estimating%20and%20target%20costing.pdf>.

Beer, S. 1994. *Decision and Control: The Meaning of Operational Research and Management Cybernetics*. John Wiley & Sons, Ltd. England. ISBN 0-471-06210-3 (sähköinen), ISBN 0-471-94838-1 (painettu).

Cupori Oy 2014. Cupori 310 Medical. Tuotekuvaus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.1.2014]. Saatavissa: http://www.cupori.com/tuotteet/Cupori_sairaalakaasuputket/310_sairaalakaasuputki?cm_print_version=1&cm_do_pdf=1.

Daft, R.L. 2004. *Organization theory and design*. 8.painos. Thomson/South-Western. Mason, Ohio. xvi, 624 s. ISBN 0-324-15691-X.

Department of health 2006. Medical Gases. Health technical memorandum 02-01: Medical gas pipeline systems. Part A: Design, installation, validation and verification. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.1.2014]. Saatavissa: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/153575/HTM_02-01_Part_A.pdf.

Eastman, C. 2011. *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2.painos. John Wiley & Sons. xiv, 648 s. ISBN 978-0-470-54137-1.

Ellis, M.W. & Mathews, E.H. 2002. Needs and trends in building and HVAC system design tools. *Building and Environment*. [Verkkolehti]. Vol. 37:5. s. 461-470. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301000403>.

Ellman, A. 2002. *Pneumatiikka*. Edita Prima Oy. Helsinki. 189 s. ISBN 951-37-3736-5.

Feil, P., Yook, K. & Kim, I. 2004. Japanese target costing: a historical perspective. *International Journal of Strategic Cost Management*. [Verkkolehti]. Vol. 11. s. 10-19. [Viitattu 19.1.2014]. Saatavissa: <http://economicseducation.us/dotAsset/785833.pdf>.

Fläkt Woods Oy 2014. Veloduct, Ecoduct, Veloflex pyöreä kanavajärjestelmä. Tuoteluettelo. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/e265175a-cd30-47c2-bbe5-14e9d1cb5f37>.

Gagne, M.L. & Discenza, R. 1995. Target costing. Journal of Business & Industrial Marketing. [Verkkolehti]. Vol. 10:1. s. 16-22. [Viitattu 9.1.2014]. ISSN 0885-8624 (sähköinen).

Haahtela, Y. 1980. Talonrakennushankkeiden normaalihintamenettely. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Otaniemi. 163 s.

Haahtela, Y. & Kiiras, J. 2013. Talonrakennuksen kustannustieto 2013. Haahtela-kehitys Oy. Helsinki. 390 s. ISBN 978-952-5403-21-3.

Hagström, K., Kulmala, I., Kuoksa, T., Laine, J., Niemelä, R., Pöntinen, K., Railio, J., Sainio, S., Selin, M., Sjöholm, P., Sulamäki, H. & Tähti, E. 2000. Teollisuusilmastoinnin opas. Suomen talotekniikan kehityskeskus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2013]. Saatavissa:

http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vantalvi.fi%2Fuploads%2Ffiles%2F44_Teollilm.170902.doc&ei=GpeMUrDQKajI4gS6ooGICw&usg=AFQjCNGUze-ZcdDne_xnBINOFHDxZj53HGg.

Hauhia, T. 2014. Suunnittelija. Intelco Oy. Sähköpostikysely 6.3.2014.

Hellsten, J. 2010. Todellinen tietomallin käyttö on vielä kaukana. [Verkkolehti]. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/21371.html>.

Hietanen, J. 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu: filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista. Rakennustieto. Helsinki. 95 s. ISBN 951-682-783-7.

Hirsivuori, J. 2013. Paineilmajärjestelmät. Sarlin Oy Ab, Vantaa. Haastattelu 31.10.2013.

Howell, I. & Batcheler, B. 2005. Building information modeling two years later—huge potential, some success and several limitations. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf.

Hämäläinen, E. 1995. Uima-altaiden vedenpuhdistus. Opetusministeriö. Liikuntapaikkajulkaisu 55. Rakennustieto Oy. Helsinki. 97 s. ISBN 951-682-374-2, ISSN 1236-0694.

Ilmastointitekniikka opetusmonisteet 2006. Ilmastoinnin termodynamiikka. Ene-58.122. Aalto Yliopisto. Energiatekniikan laitos.

Insinööritoimisto Sarkki 2013a. LVI-kalenteri. Kierteytettävät teräsputket keskiraskas SFS 3312.

Insinööritoimisto Sarkki 2013b. LVI-kalenteri. Putket PE-muovia. PEM PN10 ja PEH PN10.

Järvinen, T. 2014a. Matkaraportti: buildingSMART Nordic Conference, Sweden 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://tietomalli.blogspot.fi/>.

Järvinen, T. 2014b. Minne projektin vaiheistus on hävinnyt? [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://tietomalli.blogspot.fi/>.

Järvinen, T. 2014c. Tietomallipäällikkö. Granlund Oy. Sähköpostikysely 31.3.2014.

Kaiko Oy 1988. Vesikirja. Kaikki vedestä. 5.painos. Amer Yhtymä Oy Weilin+Göös. Helsinki. 352 s. ISBN 951-99889-0-4.

Kakkonen, K. 2010. Laboratorion ilmanvaihdon säätöjärjestelmät. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://www.fanison.fi/pdf/Saatojarjestelmien_valinta.pdf.

Kankainen, J. & Junnonen, J. 2001. Rakennuttaminen. Rakennustieto Oy. Helsinki. 101 s. ISBN 951-682-631-8.

Karstila, K. 2004. Rakennusten tuotemallintamisen sanasto. Pro IT. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.1.2014]. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_sanasto_v10.pdf.

Kemianteollisuus ry 2006. Teollisuuskaasujen keskusjakelujärjestelmät. 2.painos. Chemas Oy. Helsinki. 65 s. ISBN 952-9597-60-6.

Kerosuo, H., Miettinen, R., Mäki, T. & Paavola, S. 2012. Tietomallintamisen käytöt rakentamisessa. [Verkkolehti]. Vol. 7:1-2. s. 1-19. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://www.academia.edu/1644124/Tietomallintamisen_kaytot_rakentamisessa.

Korhonen, A. 2013. Tietorakenteet ja algoritmit. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-106.../T-106_1220_johdanto.pdf.

Korhonen, H., Valjakka, T. & Apilo, T. 2011. Asiakasymmärrys teollisuuden palveluliiketoiminnassa. Tavoitteena ostava asiakas. VTT tiedotteita. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2598.pdf>.

Korpela, J. 2012. Tietomallintamisen käyttöönoton ongelmat rakennushankkeessa. [Verkkolehti]. Vol. 7:1-2. s. 1-24. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://www.muutoslaboratorio.fi/files/4_Tietomallintamisen_kayttoonoton_ongelmat_rakennushankkeessa.pdf.

Kotimaisten kielten keskus 2014. Lyhenneluettelo. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <http://www.kotus.fi/index.phtml?s=2149>.

Kujala, T. 1999. Tarveselvitys ja hankesuunnittelu nykypäivän rakennushankkeessa. Esi selvitys. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: <http://www.rakli.fi/attachments/2005-08-16T13-28-3545.pdf>.

Kulmala, I., Riipinen, H., Säämänen, A. & Welling, I. 2004. Pölyntorjunta. Kansainvälinen yhteistyö- ja tiedonvälityshanke hyvien työympäristöratkaisujen edistämiseksi. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.10.2013]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>.

Laakko, T. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. WSOY. Helsinki. 311 s. ISBN 951-0-23217-3.

Laiho, E. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkelin teknillinen oppilaitos. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.1.2014]. Saatavissa: <http://koti.mbnet.fi/goofiax/Putkijohtojen%20virtausteknisen%20mitoituksen%20perusteet.pdf>.

Laine, T. 2008. Tuotemallintaminen talotekniikkasuunnittelussa. Rakennustieto Oy. Tampere. 48 s. ISBN 978-951-682-859-9.

Lakka, A., Laurikka, P. & Vainio, M. 1995. Asiakaslähtöinen suunnittelu: QFD rakentamisessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1995/T1685.pdf>.

Leino, M. 2002. Muuntojoustavuus toimistorakennusten suunnittelussa ja sen yhteyksiä kiinteistön elinkaaritalouteen. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 112 s. ISBN 951-22-6202-9.

Luoma, J. 1997. Muuttuva ihminen - muuntuva asunto. Ympäristöministeriö. Helsinki. 126 s. ISBN 952-11-0121-0.

LVI 00-10473 2011. LVI 2010-nimikkeistö. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS. 7 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.11.2013]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10473>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

LVI 03-10491 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. Osa 4. Talotekninen suunnittelu. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS ja COBIM-hankkeen osapuolet. 30 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: <https://www.rakennustietokauppa.fi/lvi-03-10491-yleiset-tietomallivaatimukset-2012.-osa-4.-talotekninen-suunnittelu-versio-1.0-2012-/108161/dp>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

LVI 05-10440 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS. 22 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2013]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10946>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

LVI 06-10451 2009. Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS. 34 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.2.2014]. Saatavissa: <http://www.rakennustieto.fi/index/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotteet1/artikkeli/51w62bcP8.html.stx>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

LVI 22-10386 2005. Uima-allasvesien käsittely. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto. 15 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2013]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10386>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

LVI 62-10092 1988. LVI-RYL Sairaalakaasuverkostot. 16 s.

LVI 74-40005 1991. Ilmankäsittelykoneen kosteuden säätö. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö RTS. 4 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2013]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/40005>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

Master format 2012. Numbers & Titles. Nimikkeistö. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://csinet.org/numbersandtitles>.

Mäenpää, S. 2014. LVI-tarjouslaskija. Sähköpeko Etelä-Suomi Oy, Espoo. Haastattelu 5.1.2014.

Mäki, R. 2014. Suunnittelija, vesihuolto. Ramboll Finland Oy. Puhelin ja sähköpostikeskustelu 30.1 - 31.1.2014.

National Institute of Building Sciences 2014. National BIM standard. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.2.2014]. Saatavissa: <http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>.

Neste, Air-Ix-suunnittelu & Ekono 1990. Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys. Helsinki. 309 s. ISBN 951-96064-7-5.

Niukkanen, I. 1980. Rakennussuunnittelun sisällön ohjaustekijät. Lisensiaattityö. Teknillinen korkeakoulu. Arkkitehtiosasto. Rakennussuunnittelun laitos.

Ourex 2014. ÅSS 3500-4000 CS. Keskusimuyksikkö. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.st-tukku.net/esitteet/ass35004000.pdf>.

Oy Aga Ab 2007. Kaasunjakelujärjestelmä - Yhteisenä päämääränä potilaan turvallinen hoito. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.2.2014]. Saatavissa: http://www.linde-healthcare.fi/international/web/lg/fi/like35lgltfi.nsf/docbyalias/medequip_centralgas.

Oy Aga Ab a, Lääkkeellisten kaasujen keskusjakelujärjestelmien mitoitus. 9 s.

Oy Aga Ab b. Sairaalakaasulaitteet. Työselitys. 13 s.

Oy Aga Ab c. Sairaaloiden keskuskaasujärjestelmät. Kaasuvaraston ja lääkkeellisten kaasujen putkiston mitoitusperusteet. 8 s.

Parker 2010. Johdanto ISO 8573 paineilman laatustandardeihin. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2014]. Saatavissa: http://www.sarlin.com/includes/file_download.asp?deptid=6651&fileid=3805&file=Johdanto%20ISO%208573%20paineilman%20laatustandardeihin.pdf&pdf=1.

Peltonen, H., Martio, A. & Sulonen, R. 2002. PDM tuotetiedon hallinta. Edita, IT Press. Helsinki. 169 s. ISBN 951-826-664-6.

Pennanen, A. 2006. Strategic Workplace Planning. International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering. Montréal, Canada. June 14-16, 2006. s. 3976-3985. Saatavissa: [http://irandanesh.febpc.com/FileEssay/civil-86-1-3-b-sy\(403\).pdf](http://irandanesh.febpc.com/FileEssay/civil-86-1-3-b-sy(403).pdf).

Pennanen, A. 2004. Workplace planning. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtiosasto. Helsinki. 158 s. ISBN 952-5403-04-1. Saatavissa: https://www.haahtela.fi/images/publications/pdf/Workspace_Planning.pdf.

Pennanen, A. & Ballard, G. 2008. Determining expected cost in the target costing process. Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group of Lean Construction, Manchester, UK. Haahtela-kehitys Oy. [Konferenssijulkaisu]. [Viitattu 12.11.2013]. Saatavissa: https://www.dropbox.com/s/wwxev0oz2jnmlpc/Pennanen_Ballard_Determining_expected_cost_in_the_target_costing_process.pdfhttps://www.dropbox.com/s/wwxev0oz2jnmlpc/Pennanen_Ballard_Determining_expected_cost_in_the_target_costing_process.pdf.

Pennanen, A., Ballard, G. & Haahtela, Y. 2010. Designing to targets in a target costing process. 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel. s. 161-170. [Konferenssijulkaisu]. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <https://www.dropbox.com/s/xmwevrab7ip8d3u/IGLC%202010%20108%20Pennanen.pdf>.

Pennanen, A., Haahtela, Y. & Väänänen, H. 2005. Workplace planning and target costing techniques in project and facility management. CIB conference Helsinki. s. 1-12. [Konferenssijulkaisu]. [Viitattu 27.2.2014]. Saatavissa: <https://www.haahtela.fi/images/publications/trgtcstngwrplcplnng.pdf>.

Pentikäinen, J. 2014. Toimitusjohtaja. ClimaConsult Finland Oy. Sähköpostikysely 31.3.2014.

Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemioja, S. 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa: yleiset periaatteet. Rakennustieto. Helsinki. 64 s. ISBN 951-682-796-9.

ProMinent Finland Oy 2014. Julkiset uima-altaat. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.2.2014]. Saatavissa: <http://www.prominent.fi/Teolliset-sovellukset/Uima-altaat/Julkiset-uima-altaat.aspx>.

Rakennustieto Oy 2013. Tietomallintamisen (BIM) käyttö Suomessa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.1.2014]. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/tutkimus-ja_kehittamistoimita/6JKJJeMCJ/BIM_avoimet_vastaukset.pdf.

Rautio, A. 1989. Kaasutekniikka sairaaloissa. Ohjeet. 5 s.

Ripatti, H. 2014. LVI-suunnittelija. ClimaConsult Finland Oy, Helsinki. Haastattelu 23.1.2014.

RT 97-10839 2005. Uimahallit ja virkistysuimalat. RT-kortti. Rakennustietosäätiö RTS. 36 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2013]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10839>. Palvelu on maksullinen ja vaatii sisäänkirjautumisen.

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-julkaisut. Forssa. 427 s. ISBN 952-91-6896-9.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. Helsinki. 444 s. ISBN 951-98811-0-7.

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. Helsinki. 348 s. ISBN 951-96098-0-6.

SFS-EN 13348 2008. Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket sairaalakaasuille tai alipaineille. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 38 s.

SFS-EN 737-3 + A1 2000. Sairaalakaasuputkistot. Osa 3: Paineistettujen sairaalakaasujen ja alipaineen putkistot. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 94 s.

SFS-EN ISO 7396-1 2007. Sairaalakaasuputkistot. Osa 1: Paineistettujen sairaalakaasujen ja alipaineen putkistot. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 133 s.

Sillman, K. 2013. LV-projektipäällikkö. Sähköpeko Oy, Tampere. Haastattelu 27.12.2013.

Sillman, M. 2014. LV-projektinohitaja. Sähköpeko Oy, Sähköpostikeskustelu 7.1.-8.1.2014.

Simon, H.A. & Rajala, P. 1979. Päätöksenteko ja hallinto. Weilin Göös. Espoo. 372 s. ISBN 951-35-1965-1.

Sisäilmayhdistys 2014. Ilman fysikaaliset tekijät. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.1.2014]. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/fysikaaliset-tekijat/>.

SMM7 1992. Standard method of measurement of building works authorised by agreement between the Royal Institution of Chartered Surveyors and the Building Employers Confederation. 7.painos. Eyre & Spottiswoode. Margate. 190 s. ISBN 0-85406-360-9.

Sosiaali- ja terveystministeriö 2008. Uima-allasveden laatu ja valvonta. Soveltamisopas. 2.painos. Suomen uimaopetus ja Hengenpelastusliitto ry. Jyväskylä. 52 s. ISBN 951-96648-2-3.

Storbacka, K., Sivula, P. & Kaario, K. 2000. Arvoa strategisista asiakkuuksista. Kauppakaari. Helsinki. 169 s. ISBN 952-14-0148-6.

Suomen sairaalatekninen yhdistys ry 2014. Sairaalakaasujärjestelmien suunnittelu-, asennus- ja huolto-ohje. . Forssa. 70 s. ISBN 978-952-99770-5-5 (sähköinen), ISBN 978-952-99770-4-8 (painettu).

Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedon hallinta - PDM. Kauppakaari. Satku-kauppakaari. Helsinki. 201 s. ISBN 951-762-796-3.

Talo 2000 -nimikkeistö 2008. Yleisseloste. Rakennustieto Oy. Helsinki. 127 s. ISBN 978-951-682-850-6.

Talotekniikka RYL 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002. Osa 1. Rakennustieto Oy. Helsinki. 369 s. ISBN 951-682-709-8.

Tamrotor kompressorit Oy . Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.1.2014]. Saatavissa: http://www.compressor.fi/www/media/EsitePDF/Paineilmajarjestelmien_suunnittelu.pdf.

Tanaka, M. 1989. Cost planning and control systems in the design phase of a new product. Japanese Management Accounting—A World Class Approach to Profit Management, Cambridge. s. 49-71.

Tanaka, T. 1993. Target costing at Toyota. Journal of cost management. vol. 7:1. s. 4-11.

Tecalemit, Paineilmajärjestelmän suunnittelu ja mitoitus. Luentomoniste. 29 s.

Teollisuuden kohdeilmanvaihto 1982. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Helsinki. 220 s. ISBN 951-46-6450-7.

Uimahalli- ja kylpylätekniinen yhdistys ry 2013. Suomen uimahallit ja kylpylät. Uimahallirekisteri. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.2.2014]. Saatavissa: <http://www.ukty.fi/data-files/userfiles/Hallitietoa/Uimahallirekisteri.pdf>.

Vesihydro Oy 2002. Uimahallien veden laatu ja käsittely. Opetusministeriö. Liikunta- paikkajulkaisu 67. Opetusministeriö ja Rakennustieto Oy. Saarijärvi. 43 s. ISBN 951-682-481-1, ISSN 1236-0694.

Weygant, R.S. 2011. BIM content development : standards, strategies, and best practices. John Wiley & Sons. New Jersey. 466 s. [Viitattu 7.3.2014]. ISBN 9781118030455 (sähköinen), 9780470583579 (painettu). Saatavissa: [http://www.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=EjH2bOv0XL4C&oi=fnd&pg=PR3&dq=BI+content+development+:+standards,+strategies,+and+best+practices&ots=9kdyTXBzbU&sig=bbV1hybc42qvFXT1fa7uB\(TRUNCATED\)](http://www.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=EjH2bOv0XL4C&oi=fnd&pg=PR3&dq=BI+content+development+:+standards,+strategies,+and+best+practices&ots=9kdyTXBzbU&sig=bbV1hybc42qvFXT1fa7uB(TRUNCATED)).

Wikipedia 2013. 2D-grafiikka. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/2D-grafiikka>.

Ympäristöministeriö 2012a. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Rakennetun ympäristön osasto. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf.

Ympäristöministeriö 2012b. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.1.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf.

Zeleny, M. 1982. Multiple criteria decision making. McGraw-Hill. New York. [Viitattu 7.3.2014]. 563 s. ISBN 0-07-072795-3. Saatavissa: <http://classwebs.spea.indiana.edu/kenricha/Oxford/Archives/Oxford%202006/Courses/Decision%20Making/Articles/Zeleny.%20Ch.%203.pdf>.

Liitteet

Liite 1 Rakennusosanimikkeistö

RAKENNUSOSANIMIKKEISTÖ

Haahtela – nimikkeistö:

■ LVI-OSAT

Talo 2000 – Hankenimikkeistön mukaisesti

2.1	Putkiosat.....	3
2.1.1	Lämpö	3
2.1.1.1	Lämmityksen keskuslaitteet	3
2.1.1.2	Lämpöjohdot	3
2.1.1.3	Lämmityksen päätelaitteet	3
2.1.2	Jäähdytys	4
2.1.2.1	Jäähdytyksen keskuslaitteet	4
2.1.2.2	Jäähdytysjohdot	4
2.1.2.3	Jäähdytyksen päätelaitteet	4
2.1.3	Käyttövesi	5
2.1.3.1	Käyttöveden keskuslaitteet	5
2.1.3.2	Käyttövesijohdot	5
2.1.3.3	Käyttövesikalusteet	5
2.1.4	Jätevesi	6
2.1.4.1	Jäteveden keskuslaitteet	6
2.1.4.2	Jätevesiviemärit	6
2.1.4.3	Jätevesikalusteet	6
2.1.5	Sadevesi	7
2.1.5.1	Sadeveden keskuslaitteet	7
2.1.5.2	Sadevesiviemärit	7
2.1.5.3	Sadevesikaivot	7
2.1.6	Palontorjunta	8
2.1.6.1	Palontorjunnan keskuslaitteet	8
2.1.6.2	Palontorjunnan putkistot	8
2.1.6.3	Palontorjunnan päätelaitteet	8
2.2	Ilmanvaihto-osat	9
2.2.1	Tuloilma	9
2.2.1.1	Tuloilman keskuslaitteet	9
2.2.1.2	Tuloilmakanavistot	9
2.2.1.3	Tuloilman päätelaitteet	9
2.2.2	Poistoilma	10
2.2.2.1	Poistoilman keskuslaitteet	10
2.2.2.2	Poistoilmakanavistot	10
2.2.2.3	Poistoilman päätelaitteet	10
2.3	LVI-erikoisosat	11
2.3.1	Höyry	11
2.3.1.1	Höyryn keskuslaitteet	11
2.3.1.2	Höyryputkistot	11
2.3.1.3	Höyryn päätelaitteet	11
2.3.2	Ilman epäpuhtauksien poisto	12
2.3.2.1	Ilman epäpuhtauksien poiston keskuslaitteet	12
2.3.2.2	Ilman epäpuhtauksien poiston kanavistot	12
2.3.2.3	Ilman epäpuhtauksien poiston päätelaitteet	12

2.3.3	Kaasu	13
2.3.3.1	<i>Kaasun keskuslaitteet</i>	13
2.3.3.2	<i>Kaasuputkistot</i>	13
2.3.3.3	<i>Kaasun päätelaitteet</i>	13
2.3.4	Kiinteiden aineiden poisto	14
2.3.4.1	<i>Kiinteiden aineiden poiston keskuslaitteet</i>	14
2.3.4.2	<i>Kiinteiden aineiden poiston putkistot</i>	14
2.3.4.3	<i>Kiinteiden aineiden poiston päätelaitteet</i>	14
2.3.5	Kylmä	15
2.3.5.1	<i>Kylmän keskuslaitteet</i>	15
2.3.5.2	<i>Kylmäjohdot</i>	15
2.3.5.3	<i>Kylmän päätelaitteet</i>	15
2.3.6	Paineilma	16
2.3.6.1	<i>Paineilman keskuslaitteet</i>	16
2.3.6.2	<i>Paineilmaputkistot</i>	16
2.3.6.3	<i>Paineilman päätelaitteet</i>	16
2.3.7	Vedenkäsittely	17
2.3.7.1	<i>Vedenkäsittelyn keskuslaitteet</i>	17
2.3.7.2	<i>Vedenkäsittelyn putkistot</i>	17
2.3.7.3	<i>Vedenkäsittelyn päätelaitteet</i>	17
2.3.8	Muut LVI-erikoisjärjestelmät	18
2.3.8.1	<i>Muut LVI-erikoisjärjestelmien keskuslaitteet</i>	18
2.3.8.2	<i>Muut LVI-erikoisjärjestelmien putkistot ja kanavistot</i>	18
2.3.8.3	<i>Muut LVI-erikoisjärjestelmien kalusteet ja päätelaitteet</i>	18

2.1 Putkiosat

Putkiosat koostuvat lämmityksestä, jäähdytyksestä, käyttövedestä, jätevedestä, sadevedestä ja palontorjunnasta. Putkiosat voivat sijaita rakennuksen sisällä tai rakennuksen ulkopuolella.

2.1.1 Lämpö

Lämpö koostuu lämmityksen keskuslaitteista, lämpöjohdoista ja lämmityksen päätelaitteista.

2.1.1.1 Lämmityksen keskuslaitteet

Lämmityksen keskuslaitteita ovat esimerkiksi alakeskukset, lämmitystarkoituksiin käytettävät lämmönsiirtimet, kattilat, säiliöt, paisunta-astiat, pumput, lämpöpumput, lämmöntalteenottolaitteistot ja ilmanpoistolaitteistot.

Lämmityksen keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyyppin ja -koon mukaan.

2.1.1.2 Lämpöjohdot

Lämpöjohdot ovat lämmön johtamiseen tarkoitetut putkistot, joiden avulla lämpö siirretään keskuslaitteilta tai lämpöliittymästä lämmityksen päätelaitteille. Lämpöjohdot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, ilmanpoistimet, lianerottimet, varolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Lämpöjohdot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.1.1.3 Lämmityksen päätelaitteet

Lämmityksen päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, jotka sijaitsevat tiloissa ja niiden käyttötarkoitus on tilojen lämmittäminen. Lämmityksen päätelaitteita ovat esimerkiksi radiaattorit, konvektorit, säteilylämmittimet, kiertoilmalämmittimet ja oviverhokoneet. Puhallinkonvektorit luetaan lämmityksen päätelaitteisiin, mikäli niiden käyttötarkoitus on vain lämmitys, eikä niissä ole kanavaliitäntää. Jos puhallinkonvektoreissa on kanavaliitäntä, kuuluvat ne tuloilman päätelaitteeksi.

Lämmityksen päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyyppin ja -koon mukaan.

2.1.2 Jäähdytys

Jäähdytys koostuu jäähdytyksen keskuslaitteista, jäähdytysjohdoista ja jäähdytyksen päätelaitteista.

2.1.2.1 Jäähdytyksen keskuslaitteet

Jäähdytyksen keskuslaitteita ovat esimerkiksi vedenjäähdytyskoneet, jäähdytystarkoituksiin käytettävät lämmönsiirtimet, lauhduttimet, nestejäähdyttimet, vakioilmastointikoneet, ilmanpoistolaitteistot, säiliöt, paisunta-astiat ja pumput.

Jäähdytyksen keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.1.2.2 Jäähdytysjohdot

Jäähdytysjohdot ovat kylmän johtamiseen tarkoitettut putkistot, joiden avulla kylmä johdetaan keskuslaitteilta tai kaukokylmäliittymästä jäähdytyksen päätelaitteille. Jäähdytysjohdot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, ilmanpoistimet, lianerottimet, varolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Jäähdytysjohdot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.1.2.3 Jäähdytyksen päätelaitteet

Jäähdytyksen päätelaitteita tarkoitetaan laitteita, jotka sijaitsevat tiloissa tai niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on tilojen jäähdyttäminen. Jäähdytyksen päätelaitteita ovat esimerkiksi säteilyjäähdyttimet ja muut paikalliset jäähdytyslaitteet. Puhallinkonvektorit ja jäähdytyspalkit luetaan jäähdytyksen päätelaitteiksi, mikäli niitä käytetään sekä lämmitykseen että jäähdytykseen tai pelkästään jäähdytykseen. Mikäli puhallinkonvektoreissa ja jäähdytyspalkeissa on kanavaliitäntä, kuuluvat ne tuloilman päätelaitteeksi.

Jäähdytyksen päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.1.3 Käyttövesi

Käyttövesi koostuu käyttöveden keskuslaitteista, käyttövesijohdoista ja käyttövesikalusteista.

2.1.3.1 Käyttöveden keskuslaitteet

Käyttöveden keskuslaitteita ovat esimerkiksi käyttövesivaraajat, erilliset vedenlämmittimet, pumput, paineenkorotus- tai alennusasemat, säiliöt ja vedenkäsittelylaitteet.

Käyttöveden keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyyppin ja -koon mukaan.

2.1.3.2 Käyttövesijohdot

Käyttövesijohtoja ovat veden johtamiseen tarkoitetut putkistot, joiden avulla vesi saadaan käyttöön vesikalusteista. Käyttövesijohdot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, varolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Käyttövesijohdot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.1.3.3 Käyttövesikalusteet

Käyttövesikalusteita ovat erilaiset kalusteet, joiden avulla vettä voidaan käyttää kulutuspisteissä. Käyttövesikalusteita ovat esimerkiksi hanat, suihkut, vesipostiventtiilit ja käyttövesipatterit.

Käyttövesikalusteet lasketaan kappaleina ja erotellaan kalustetyypin ja -koon mukaan.

2.1.4 Jätevesi

Jätevesi koostuu jäteveden keskuslaitteista, jätevesiviemäreistä ja jätevesikalusteista. Jätevesi sisältää myös kondenssivedet.

2.1.4.1 Jäteveden keskuslaitteet

Jäteveden keskuslaitteita ovat esimerkiksi jätevesipumput, jätevesipumppaamot, erottimet, puhdistamot, jäteveden käsittelylaitteet ja säiliöt.

Jäteveden keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.1.4.2 Jätevesiviemärit

Jätevesiviemäreitä ovat jäteveden johtamiseen tarkoitetut putkistot, joiden avulla jätevesi johdetaan kulutuslaitteilta puhdistukseen. Jätevesiviemärit päätyvät kunnan liittymään tai omaan puhdistusjärjestelmään. Jätevesiviemärit sisältävät suorat putket, putken osat ja eristyksen.

Jätevesiviemärit mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.1.4.3 Jätevesikalusteet

Jätevesikalusteita ovat erilaiset kalusteet, joiden avulla jätevesi voidaan johtaa jätevesiviemäriin veden käyttöpisteiltä. Jätevesikalusteita ovat esimerkiksi erilaiset kaivot, lattia-altaat, wc-istuimet, pesualtaat, ammeet ja kaapit.

Jätevesikalusteet lasketaan kappaleina ja erotellaan kalustetyypin ja -koon mukaan.

2.1.5 Sadevesi

Sadevesi koostuu sadeveden keskuslaitteista, sadevesiviemäreistä ja sadevesikaivoista.

2.1.5.1 Sadeveden keskuslaitteet

Sadeveden keskuslaitteita ovat sadevesipumput ja sadevesipumppaamot.

Sadeveden keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.1.5.2 Sadevesiviemärit

Sadevesiviemäreitä ovat sadeveden poisjohtamiseen tarkoitetut putkistot. Sadevesiviemärit sisältävät suorat putket, putken osat ja eristyksen.

Sadevesiviemärit mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.1.5.3 Sadevesikaivot

Sadevesikaivoja ovat esimerkiksi erilaiset kaivot ja kourut, joiden avulla sadevesi johdetaan pois pihalta, katoilta ja muilta pinnoilta.

Sadevesikaivot lasketaan kappaleina ja erotellaan kaivotyyppin ja -koon mukaan.

2.1.6 Palontorjunta

Palontorjunta koostuu palontorjunnan keskuslaitteista, palontorjunnan putkistosta ja palontorjunnan päätelaitteista. Palontorjuntajärjestelmiä ovat pikapalopostijärjestelmät sekä sprinkler- ja kaasusammutusjärjestelmät.

2.1.6.1 Palontorjunnan keskuslaitteet

Palontorjunnan keskuslaitteita ovat esimerkiksi kaasukeskukset, paineenkorotuslaitteet, pumput ja altaat.

Palontorjunnan keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyyppin ja -koon mukaan.

2.1.6.2 Palontorjunnan putkistot

Palontorjunnan putkistot ovat palon sammuttamiseen tarvittavien nesteiden ja kaasujen johtamiseen tarkoitettut putkistot. Palontorjunnan putkistot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, varolaitteet, mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Palontorjunnan putkisto mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.1.6.3 Palontorjunnan päätelaitteet

Palontorjunnan päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla kaasu tai neste voidaan vapauttaa palon sammutustarkoituksiin. Palontorjunnan päätelaitteita ovat esimerkiksi suuttimet, sammuttimet ja palopostit.

Palontorjunnan päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetyypin ja -koon mukaan.

2.2 Ilmanvaihto-osat

Ilmanvaihto-osat koostuvat tuloilmasta ja poistoilmasta. Ilmanvaihto-osat voivat sijaita rakennuksen sisällä tai rakennuksen ulkopuolella.

2.2.1 Tuloilma

Tuloilma koostuu tuloilman keskuslaitteista, tuloilmakanavistosta ja tuloilman päätelaitteista.

2.2.1.1 Tuloilman keskuslaitteet

Tuloilman keskuslaitteita ovat esimerkiksi tuloilmakoneet, tuloilmapuhaltimet ja tuloilmakammiot. Koneet voivat koostua seuraavista osista

- 1 Sulkupelti
- 2 Suodatin
- 3 Lämmöntalteenotto
- 4 Puhallin
- 5 Äänenvaimennin
- 6 Kostutus
- 7 Lämmityspatteri
- 8 Jäähdytyspatteri

Tuloilman keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyyppin ja -koon mukaan.

2.2.1.2 Tuloilmakanavistot

Tuloilmakanavistot ovat tuloilman johtamiseen keskuslaitteilta päätelaitteille tarkoitetut kanavistot. Tuloilmakanavistot sisältävät suorat kanavat, kanavaosat, eristyksen, kanaviston äänenvaimentimet, kanavasuodattimet, kanavaan asennettavat jälkilämmitys ja -jäähdytyslaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Tuloilmakanavistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Kanavat ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.2.1.3 Tuloilman päätelaitteet

Tuloilman päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, jotka sijaitsevat tiloissa ja niiden pääasiallisena käyttötarkoituksena on tuloilman jakaminen tiloihin. Tuloilman päätelaitteita ovat esimerkiksi tuloilmaventtiilit, -säleiköt ja -hajottajat. Tuloilman päätelaitteisiin luetaan myös jäähdytyspalkit ja mahdollisesti myös puhallinkonvektorit, mikäli niissä on kanavaliitäntä.

Tuloilman päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetyypin ja -koon mukaan.

2.2.2 Poistoilma

Poistoilma koostuu poistoilman keskuslaitteista, poistoilmakanavistosta ja poistoilman päätelaitteista.

2.2.2.1 Poistoilman keskuslaitteet

Poistoilman keskuslaitteita ovat esimerkiksi poistoilmakoneet, poistoilmapuhaltimet, huippuimurit ja poistoilmakammiot. Koneet voivat koostua seuraavista osista

- 1 Suodatin
- 2 Äänenvaimennin
- 3 Lämmöntalteenotto
- 4 Puhallin
- 5 Sulkupelti

Poistoilman keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.2.2.2 Poistoilmakanavistot

Poistoilmakanavistot ovat poistoilman johtamiseen päätelaitteilta keskuslaitteille tarkoitettua kanavistoa. Poistoilmakanavistot sisältävät suorat kanavat, kanavaosat, eristyksen, äänenvaimentimet, kanavasuodattimet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Poistoilmakanavistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Kanavat ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.2.2.3 Poistoilman päätelaitteet

Poistoilman päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, jotka sijaitsevat tiloissa ja niiden pääasiallisena käyttötarkoituksena on poistoilman johtaminen ulos tiloista. Poistoilman päätelaitteita ovat esimerkiksi poistoilmaventtiilit, -säleiköt ja -hajottajat.

Poistoilman päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetyypin ja -koon mukaan.

2.3 LVI-erikoisosat

LVI-erikoisosat koostuvat höyrystä, ilman epäpuhtauksien poistosta, kaasusta, kiinteiden aineiden poistosta, kylmästä, paineilmapölystä, vedenkäsittelystä sekä muista LVI-erikoisjärjestelmistä. LVI-erikoisosat voivat sijaita rakennuksen sisällä tai rakennuksen ulkopuolella.

2.3.1 Höyry

Höyry koostuu höyryn keskuslaitteista, höyryputkistosta ja höyryn päätelaitteista.

2.3.1.1 Höyryn keskuslaitteet

Höyryn keskuslaitteita ovat esimerkiksi erilaiset kanavaan tai tiloihin asennettavat höyrynkehittimet.

Höyryn keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.3.1.2 Höyryputkistot

Höyryputkistot ovat höyryn kuljettamiseen tarkoitetut putkistot. Niiden avulla höyry siirretään höyryn keskuslaitteilta päätelaitteille. Höyryputkistot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, varolaitteet, vedenpoistimet, sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Höyryputkistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.1.3 Höyryn päätelaitteet

Höyryn päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla höyry voidaan ottaa käyttöön kulutuspisteessä. Höyryn päätelaitteita voivat olla esimerkiksi erilaiset suuttimet, hanat ja venttiilit.

Höyryn päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetypin ja -koon mukaan.

2.3.2 Ilman epäpuhtauksien poisto

Ilman epäpuhtauksien poistojärjestelmät koostuvat keskuslaitteista, putkistosta ja päätelaitteista. Ilman epäpuhtauksien poistoa ovat savunpoistojärjestelmät, hitsauskaasujen poistojärjestelmät, vetokaappien poistojärjestelmät ja muut kaasujen kohdepoistojärjestelmät.

2.3.2.1 Ilman epäpuhtauksien poiston keskuslaitteet

Ilman epäpuhtauksien poiston keskuslaitteita ovat esimerkiksi puhaltimet ja kaasun käsittelylaitteet.

Ilman epäpuhtauksien poiston keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyyppin ja -koon mukaan.

2.3.2.2 Ilman epäpuhtauksien poiston kanavistot

Ilman epäpuhtauksien poiston kanavistot ovat kaasujen kuljettamiseen tarkoitettuja kanavistoja, joiden avulla kaasu saadaan poistettua tiloista. Ilman epäpuhtauksien poiston kanavistot sisältävät suorat kanavat, kanavaosat, eristyksen, äänenvaimentimet, suodattimet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Ilman epäpuhtauksien poiston kanavistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Kanavat ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.2.3 Ilman epäpuhtauksien poiston päätelaitteet

Ilman epäpuhtauksien poiston päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla kaasu kerätään tiloista putkistoon. Tällaisia päätelaitteita voivat olla esimerkiksi vetokaapit, imukärsät ja erilaiset kaasujen kohdepoistot.

Ilman epäpuhtauksien poiston päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetyypin ja -koon mukaan.

2.3.3 Kaasu

Kaasu koostuu kaasun keskuslaitteista, kaasuputkistosta ja kaasun päätelaitteista. Kaasujärjestelmiä ovat erilaiset sairaalakaasut ja teollisuuskaasut.

2.3.3.1 Kaasun keskuslaitteet

Kaasun keskuslaitteita ovat esimerkiksi kaasuvälikammiot, säiliöt, kaasukeskukset ja kaasun käsittelylaitteet.

Kaasun keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.3.3.2 Kaasuputkistot

Kaasuputkistot ovat kaasujen kuljettamiseen tarkoitettut putkistot. Niiden avulla kaasu siirretään kaasulähteestä kulutuspaikalle. Kaasuputkistot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, varolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkuosat.

Kaasuputkistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.3.3 Kaasun päätelaitteet

Kaasun päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla kaasu voidaan ottaa käyttöön kulutuspaikassa. Kaasun päätelaitteita voivat olla esimerkiksi erilaiset kaasunottoaukot.

Kaasun päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetypin ja -koon mukaan.

2.3.4 Kiinteiden aineiden poisto

Kiinteiden aineiden poisto koostuu keskuslaitteista, putkistosta ja päätelaitteista. Kiinteiden aineiden poistoa ovat purunpoistojärjestelmät, keskuspölynpoistojärjestelmät ja jätteidenpoistojärjestelmät.

2.3.4.1 Kiinteiden aineiden poiston keskuslaitteet

Kiinteiden aineiden poiston keskuslaitteita ovat esimerkiksi puhaltimet, kompressorit, käsittelylaitteet ja säiliöt.

Kiinteiden aineiden poiston keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.3.4.2 Kiinteiden aineiden poiston putkistot

Kiinteiden aineiden poiston putkistot ovat kiinteiden aineiden kuljettamiseen tarkoitettuja putkistoja. Niiden avulla kiinteä aine kuljetetaan päätelaitteilta keskuslaitteille. Kiinteiden aineiden poiston putkistot sisältävät suorat putket tai kanavat, putki- ja kanavaosat, eristyksen, äänenvaimentimet, suodattimet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Kiinteiden aineiden poiston putkistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.4.3 Kiinteiden aineiden poiston päätelaitteet

Kiinteiden aineiden poiston päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla kiinteä aine voidaan kerätä tiloista. Tällaisia päätelaitteita ovat esimerkiksi keskuspölynpoiston imupisteet ja purunpoiston kohdepoistolaitteet.

Kiinteiden aineiden poiston päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetypin ja -koon mukaan.

2.3.5 Kylmä

Kylmä koostuu kylmän keskuslaitteista, kylmäjohdoista ja kylmän päätelaitteista.

2.3.5.1 Kylmän keskuslaitteet

Kylmän keskuslaitteita ovat esimerkiksi kompressorit, lauhduttimet, säiliöt ja ilmanpoistolaitteistot.

Kylmän keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.3.5.2 Kylmäjohdot

Kylmäjohdot ovat kylmän johtamiseen tarkoitettut putkistot, joiden avulla kylmä johdetaan keskuslaitteilta kylmän päätelaitteille. Kylmäjohdot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, kylmäaineet, paisuntaventtiilit, varolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkuaitteet.

Kylmäjohdot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.5.3 Kylmän päätelaitteet

Kylmän päätelaitteita tarkoitetaan laitteita, jotka sijaitsevat tiloissa ja niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on pakkas- tai kylmätilojen jäähdyttäminen. Kylmän päätelaitteita ovat esimerkiksi erilaiset höyrystimet.

Kylmän päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetypin ja -koon mukaan.

2.3.6 Paineilma

Paineilma koostuu paineilman keskuslaitteista, paineilmaputkistosta ja paineilman päätelaitteista.

2.3.6.1 Paineilman keskuslaitteet

Paineilman keskuslaitteita ovat esimerkiksi kompressorit, säiliöt, jäähdytys- ja absorptiokuivaimet sekä muut ilmakehityslaitteet.

Paineilman keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.3.6.2 Paineilmaputkistot

Paineilmaputkistot ovat paineilman johtamiseen keskuslaitteilta päätelaitteille tarkoitetut putkistot. Paineilmaputkistot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, vedenpoistolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Paineilmaputkistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.6.3 Paineilman päätelaitteet

Paineilman päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla paineilma otetaan käyttöön kulutuspaikassa. Paineilman päätelaitteita ovat esimerkiksi erilaiset paineilmatyökalut tai -laitteet.

Paineilman päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetypin ja -koon mukaan.

2.3.7 Vedenkäsittely

Vedenkäsittely koostuu keskuslaitteista, putkistosta ja päätelaitteista. Vedenkäsittelyjärjestelmiä ovat uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmät ja muut erityiset vedenkäsittelyjärjestelmät.

2.3.7.1 Vedenkäsittelyn keskuslaitteet

Vedenkäsittelyn keskuslaitteista ovat esimerkiksi pumput, suodattimet, veden käsittelylaitteet, tasaussäiliöt ja kemikaalien syöttölaitteet.

Vedenkäsittelyn keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetyypin ja -koon mukaan.

2.3.7.2 Vedenkäsittelyn putkistot

Vedenkäsittelyn putkistot ovat veden siirtämiseen tarkoitettut putkistot, joiden avulla vesi siirretään päätelaitteilta vedenkäsittelyn keskuslaitteille ja takaisin. Vedenkäsittelyn putkistot sisältävät suorat putket, putken osat, eristyksen, varolaitteet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Vedenkäsittelyn putkistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.7.3 Vedenkäsittelyn päätelaitteet

Vedenkäsittelyn päätelaitteilla tarkoitetaan laitteita, joiden avulla puhdistettu vesi otetaan käyttöön. Tällaisia päätelaitteita voivat olla esimerkiksi erilaiset suuttimet ja hanat.

Vedenkäsittelyn päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaitetyypin ja -koon mukaan.

2.3.8 Muut LVI-erikoisjärjestelmät

Muut LVI-erikoisjärjestelmät koostuvat keskuslaitteista, putkistosta tai kanavistosta sekä kalusteista tai päätelaitteista. Tällaisia järjestelmiä voivat olla esimerkiksi putkipostijärjestelmät.

2.3.8.1 Muut LVI-erikoisjärjestelmien keskuslaitteet

Muut LVI-erikoisjärjestelmien keskuslaitteet ovat harvinaisempien järjestelmien keskuslaitteita.

Muut LVI-erikoisjärjestelmien keskuslaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan laitetypin ja -koon mukaan.

2.3.8.2 Muut LVI-erikoisjärjestelmien putkistot ja kanavistot

Muut LVI-erikoisjärjestelmien putkistot ja kanavistot sisältävät suorat kanavat ja putket, kanava- ja putkiosat, eristyksen, äänenvaimentimet sekä mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet.

Muut LVI-erikoisjärjestelmien putkistot ja kanavistot mitataan metreinä ja osat kappaleina. Putket ja kanavat sekä osat eritellään materiaalin ja koon mukaan.

2.3.8.3 Muut LVI-erikoisjärjestelmien kalusteet ja päätelaitteet

Muut LVI-erikoisjärjestelmien kalusteet ja päätelaitteet ovat harvinaisempien järjestelmien kalusteita ja päätelaitteita.

Muut LVI-erikoisjärjestelmien kalusteet ja päätelaitteet lasketaan kappaleina ja erotellaan päätelaite- tai kalustetypin ja koon mukaan.

TUOTANTONIMIKKEISTÖ

Haahtela – nimikkeistö:

■ LVI-OSAT

Talo 2000 – Tuotantonimikkeistön mukaisesti



21.	LVI-LAITEASENTAMINEN	2
22.	PUTKISTO- JA KANAVA-ASENTAMINEN	2
23.	LVI-ERISTÄMINEN.....	3

21. LVI-LAITEASENTAMINEN

LVI-laiteasentaminen käsittää keskus- ja päätelaitteiden sekä kalusteiden ja kaivojen tuotetoimituksen, asennustuotteet, asennustyön ja kaluston.

Tuotetoimitus sisältää keskus- ja päätelaitteiden sekä kalusteiden ja kaivojen tuotetoimituksen.

Asennustuotteet ovat esimerkiksi asennuksissa käytettävät tarvikkeet, kuten kannakkeet, kiinnitystarvikkeet, tiivisteet ja tiivistysaineet.

Asennustyö sisältää keskus- ja päätelaitteiden sekä kalusteiden ja kaivojen paikalleen asennuksen, merkitsemisen, tiiveys- tai painekokeen, mittaus- ja säätötyön, puhdistustyön, käyttöönoton ja opastuksen.

Kalusto koostuu asennuksessa tarvittavista laitteista ja työkaluista. Tällaisia ovat esimerkiksi nostimet, telineet ja siirtolaitteet.

22. PUTKISTO- JA KANAVA-ASENTAMINEN

Putkisto- ja kanava-asentaminen käsittää putkistojen ja kanavistojen tuotetoimituksen, asennustuotteet, asennustyön ja kaluston.

Tuotetoimitus sisältää suorat putket ja kanavat, putki- ja kanavaosat, ilmanpoistimet, lianerottimet, varolaitteet, mittaus-, säätö- ja sulkulaitteet, kanaviston äänenvaimentimet, kanavasuodattimet sekä kanavistoon asennettavat jälkilämmitys ja -jäähdytyslaitteet.

Asennustuotteet ovat esimerkiksi asennuksissa käytettävät tarvikkeet, kuten kannakkeet, kiinnitystarvikkeet, teipit ja tiivistysaineet.

Asennustyö sisältää paikalleen asennuksen, merkitsemisen, tiiveys- tai painekokeen, mittaus- ja säätötyön, puhdistustyön, käyttöönoton ja opastuksen.

Kalusto koostuu asennuksessa tarvittavista laitteista ja työkaluista. Tällaisia ovat esimerkiksi kierteityskoneet, puristuskoneet, hitsauslaitteet, nostimet, leikkurit, telineet ja siirtolaitteet.

23. LVI-ERISTÄMINEN

LVI-eristäminen käsittää putkistojen ja kanavistojen sekä laitteiden lämmön-, kondenssin-, äänen- sekä paloeristykseen.

Tuotetoimitus sisältää erilaiset eristyksessä käytettävät eristysmateriaalit. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset villat, solukumieristeet, muovit ja pellit.

Asennustuotteet ovat esimerkiksi asennuksissa käytettävät tarvikkeet, kuten teräsverkot, teräslangat, hakaset, liimat ja teipit.

Asennustyö sisältää eristeen paikalleen asennuksen ja mahdollisen pinnoituksen.

Kalusto koostuu asennuksessa tarvittavista laitteista ja työkaluista. Tällaisia ovat esimerkiksi nostimet ja telineet.

Liite 3 Rakennusosanimikkeistön testaus

2.1.1 Lämpö

2.1.1.1 Lämmityksen keskuslaitteet

- Lämmönjakokeskus
- Lämpöpumppu
- Pumppu
- Ilmanpoistolaite
- Laitteiden asennus

2.1.1.2 Lämpöjohdot

- Mustat teräsputket DN 10 - 40
- Hitsatut teräsputket DN 50 - 80
- Kannakkeet
- Palloventtiilit
- Linjasäätöventtiilit
- Automaattiset ilmanpoistimet putkistoon
- Putkiosat (käyrät, haarat, laipat)
- Eristys
- Putkiston asennus

2.1.1.3 Lämmityksen päätelaitteet

- Radiaattorit
- Konvektorit
- Kiertoilmakojeet
- Patteriventtiilit
- Laitteiden asennus

2.1.3 Käyttövesi

2.1.3.1 Käyttöveden keskuslaitteet

- Pumput
- Laitteiden asennus

2.1.3.2 Käyttövesijohdot

- Kupariputket DN 12 - 54
- Kannakkeet
- Palloventtiilit
- Takaiskuventtiilit
- Linjasäätöventtiilit
- Vesimittarit
- Hanakulmarasiat
- Eristys
- Putkiston asennus

2.1.3.3 Vesikalusteet

- Hanat
- Suihkusetit
- Hätäsuihkut
- Vesipostiventtiilit
- Kalusteiden asennus

Liite 4 Tuotantonimikkeistön testaus

21 Laiteasentaminen

- 2111 Lämmityksen keskuslaitteet
- 2113 Lämmityksen päätelaitteet
- 2131 Käyttöveden keskuslaitteet
- 2133 Käyttövesikalusteet

21 Laiteasentaminen

- 2111 Lämmityksen keskuslaitteet
- 2131 Käyttöveden keskuslaitteet

21 Laiteasentaminen

- 2113 Lämmityksen päätelaitteet
- 2133 Käyttövesikalusteet

22 Putkisto- ja kanava-asentaminen

- 2112 Lämpöjohdot
- 2132 Käyttövesijohdot

22 Putkisto- ja kanava-asentaminen

- 2112 Lämpöjohdot
 - Tuotetoimitus
 - Asennustuotteet
 - Asennustyö
 - Kalusto
- 2132 Käyttövesijohdot
 - Tuotetoimitus

22 Putkisto- ja kanava-asentaminen

- 2112 Lämpöjohdot
 - Asennustuotteet
 - Asennustyö
 - Kalusto

23 LVI-eristäminen

- 2111 Lämmityksen keskuslaitteet
- 2112 Lämpöjohdot
- 2131 Käyttöveden keskuslaitteet
- 2132 Käyttövesijohdot

23 LVI-eristäminen

- 2111 Lämmityksen keskuslaitteet
- 2131 Käyttöveden keskuslaitteet

23 LVI-eristäminen

- 2112 Lämpöjohdot
- 2132 Käyttövesijohdot

Liite 5 Putkikoon valintataulukot

Kohdepoisto (Fläkt Woods Oy 2014, s.6)

Sisähalkaisija
Kanavakoot (mm)
63
80
100
125
160
200
250
315
400
500
630
800
1000
1250

Sairaalakaasu happi (Cupori Oy 2014)

Kupari medical 310	
Ulkohalkaisija (mm)	Sisähalkaisija (mm)
10	8,4
12	10
15	13
18	16
22	20
28	25
35	32
42	39
54	50

Teollisuuden paineilma (Insinööritoimisto Sarkki 2013a, s.8)

Teräsputki	
DN koko	Sisähalkaisija (mm)
10	12,5
15	16
20	21,6
25	27,2
32	35,9
40	41,8
50	53
65	68,8
80	80,8
100	105,3
125	130
150	158,6

Uima-altaiden vedenkäsittely (Insinööritoimisto Sarkki 2013b, s.12)

Muovinen paineputki	
DN koko	Sisähalkaisija PN10 (mm)
20	16
25	20,4
32	26,2
40	32,6
50	40,8
63	51,4
75	63,8
90	83
110	101,6
160	147,6
225	207,8
280	258,6
315	290,8
400	369,4
500	461,8
630	581,8